



페플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안

OSHRI

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



연구보고서

페플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안

서동현·임진호·최이락·이준영·김형욱

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

- 연구 기간 2022년 02월 ~ 2022년 11월
- 핵심 단어 폐플라스틱, 열분해, 열분해유, 로터리 킬른
- 연구과제명 폐플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안

1. 연구배경

환경부에서는 2021년 6월에 폐플라스틱의 열분해 처리 비중을 현행 0.1%에서 2025년 3.6%, 2030년 10%까지 높이겠다는 “폐플라스틱 열분해 활성화 방안”을 발표하였다. 그리고 2021년 9월에 열분해유를 석유정제공정 및 석유화학공정에 투입할 수 있도록 법안이 개정되었다. 이로써 주로 보일러 등의 연료유로만 사용되던 폐플라스틱 열분해유의 활용범위가 확대되었고, 폐플라스틱 처리 사업장 수도 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 국내에서는 현재 20여개 사업장에서 폐플라스틱 열분해 유화 시설을 보유·운영하고 있으나 대부분 소규모 사업장이고, 운영기간이 짧아 체계적인 안전관리를 기대하기 어렵다. 이에 따라 폐플라스틱 열분해 설비의 안전장치 미설치, 공정관리 미흡, 열분해가스 누출 등의 원인으로 인한 화재·폭발 사고가 최근 다수 발생하고 있어 사업장 실태 파악 및 사고예방 방안 마련이 필요하다.

2. 주요 연구내용

1) 폐플라스틱 열분해 관련 현황

2022년 6월말 기준으로 국내 폐플라스틱 열분해 사업장은 26개사 정도로

대부분 20인 미만의 소규모 사업장이며, 로터리 킬른을 이용한 회분식 반응기를 사용하고 있는 것으로 확인되었다.

페플라스틱 열분해 설비 및 공정의 안전과 관련된 법규는 폐기물관리법, 위험물안전관리법, 산업안전보건법, 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률 등이 있는 것으로 나타났다. 폐기물관리법에서는 페플라스틱 열분해 사업장에서 열분해 설비의 설치 및 정기검사를 받도록 하는 법규가 입법예고 되었고, 위험물 안전관리법에 따라 열분해 설비 및 저장설비에 대한 허가가 필요한 것으로 확인되었다. 그리고 산업안전보건법에 따라 열분해 설비 및 공정에 대한 공정안전 보고서 작성 및 제출 또는 유해위험방지계획서 작성 및 제출 대상에 해당될 수 있을 것으로 판단되었다. 페플라스틱 열분해유는 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률에 따라 열분해유를 화학물질로 등록해야 하는 의무와 산업안전보건법에 따라 물질안전보건자료(MSDS)를 작성해야 하는 의무가 적용될 수 있을 것으로 확인되었다.

2) 페플라스틱 열분해 공정에서의 사고사례 분석

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 페플라스틱 열분해 사업장에서 16건의 화재·폭발사고가 발생한 것으로 파악되었다. 여러 건의 사고가 발생한 사업장이 있는 것을 고려하더라도, 사업장수가 20여개 수준인 것을 감안하면 다른 산업에 비해 상대적으로 높은 비율로 사고가 발생하고 있었다.

화재·폭발 사고사례를 4M, STAMP-CAST, AcciMap 등의 방법으로 분석한 결과, 사고원인은 기계적·관리적·인적·물질적인 측면과 설비의 설계·제작·시운전·운영 단계에서 다양하게 존재하는 것으로 나타났다. 또한 사업장의 작업자와 생산 및 정비조직뿐만 아니라 정부·규제기관·사업주 등 여러 계층에서 문제가 있는 것으로 나타났다.

3) 폐플라스틱 열분해 공정 및 설비의 위험성

폐플라스틱이 열분해 되면 가스, 오일, 탄화물 등의 물질이 생성되는데 각각 여러 잠재 위험성이 있는 것으로 확인되었고, 각각의 위험성을 구분하여 제시하였다. 그리고 사고분석결과 및 문헌조사 결과를 바탕으로 열분해 공정 및 설비에 잠재되어 있는 여러 위험성을 제시하였다.

4) 폐플라스틱 열분해 공정 및 설비의 안전관리 방안

폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고 예방을 위해서 폐기물관리법, 위험물안전관리법, 산업안전보건법 등에서 필요한 방안을 제시하였다. 그리고 열분해 공정 및 설비의 안전을 확보하기 위하여 물질, 설비, 공정의 측면과 사업장의 조직적인 측면에서 사고예방에 필요한 사항을 제시하였다. 또한 작업자 교육, 작업절차서 작성, 위험성평가 등의 관리적 측면에서 사고예방을 위해 필요한 방안을 제시하였다.

3. 연구 활용방안

- 폐플라스틱 열분해 사업장의 안전 확보를 위한 안전보건기술지침 마련
- 사업장 교육 및 기술자료로 활용 및 학술지 논문 발표

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 연구위원 서동현
 - ☎ 042) 869. 0332
 - E-mail : seodh93@kosha.or.kr

목 차

I. 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구내용	6
3. 연구방법	7
4. 용어의 정의	8
II. 폐플라스틱 열분해 관련 현황 및 기술	9
1. 폐플라스틱 관련 현황	11
2. 폐플라스틱 재활용 기술	15
3. 국내 폐플라스틱 열분해 관련 연구개발 현황	20
4. 폐플라스틱 열분해 유화 공정	25
5. 폐플라스틱 열분해 반응기의 종류	31

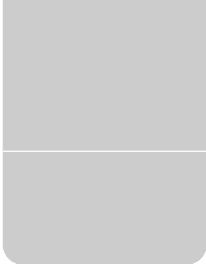
6. 폐플라스틱 열분해 유화 업체 현황	47
7. 폐플라스틱 열분해 설비 관련 법규 현황	53

Ⅲ. 폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고사례 분석 .. 75

1. 국내 사고사례	77
2. 국외 사고사례	80
3. 사고사례 분석	85

Ⅳ. 폐플라스틱 열분해 유화 공정 및 설비의 위험성 .. 107

1. 열분해 생성 물질의 위험성	109
2. 열분해 공정 및 설비의 위험 요인	126



목 차

V. 폐플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안 ..	131
1. 법적 안전관리 방안	133
2. 공정 및 설비 안전관리 방안	138
3. 관리적 측면의 안전관리 방안	145
4. 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE)(안)	146
VI. 결론	147
참고문헌	155
부록	163

표 목차

〈표 II-1〉 합성수지 종류별 생산 및 판매 현황(2020년 기준)	12
〈표 II-2〉 폐기물 형태에 따른 폐플라스틱 구성 비율	13
〈표 II-3〉 폐플라스틱 처리 현황	15
〈표 II-4〉 폐플라스틱 재활용 구분	16
〈표 II-5〉 플라스틱 열분해 유화 관련 연구 수행 현황	21
〈표 II-6〉 국내 대기업에서 추진 중인 폐플라스틱 열분해 관련 사업 및 연구 ..	23
〈표 II-7〉 환경부에서 추진 중인 폐플라스틱 열분해 관련 연구개발 현황 ..	24
〈표 II-8〉 로터리 킬른 열분해 반응기를 이용한 폐플라스틱 열분해 공정(예) ...	27
〈표 II-9〉 열분해 반응기 형식별 장·단점	43
〈표 II-10〉 열분해 반응기 종류별 특성 비교	46
〈표 II-11〉 국내 폐플라스틱 열분해 관련 사업장 현황	48
〈표 II-12〉 외국의 주요 폐플라스틱 열분해 업체	51
〈표 II-13〉 외국의 폐플라스틱 열분해 설비 제조업체	52
〈표 II-14〉 폐기물관리법의 폐플라스틱 열분해유 인화점 관련 규정	54
〈표 II-15〉 폐기물관리법 개정(안)에 따라 시행 예정인 열분해설비 검사 종류 ..	54
〈표 II-16〉 폐기물관리법 시행규칙 별표9(개정안) (폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치기준) 제3호 다목 4))	55
〈표 II-17〉 폐기물관리법 시행규칙 별표10 (폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 검사기준) 제7호	56
〈표 II-18〉 산업안전보건법의 폐플라스틱 열분해유 관련 규정	58
〈표 II-19〉 폐플라스틱 열분해설비 관련 산업안전보건법 검토 대상	61

표 목차

〈표 II-20〉 산업안전보건법 시행령 제42조(유해위험방지계획서 제출 대상) ..	62
〈표 II-21〉 산업안전보건기준에 관한 규칙 제273조(계측장치 등의 설치)에 따른 특수화학설비의 종류 및 인화성 액체의 기준량	64
〈표 II-22〉 산업안전보건법 시행령 제43조(공정안전보고서의 제출 대상) ..	65
〈표 II-23〉 위험물안전관리법에 따른 석유류 위험물 및 지정수량(시행령 별표1) ..	69
〈표 II-24〉 화학물질등록평가법 내 열분해유 관련 사항	71
〈표 II-25〉 폐플라스틱 열분해 유화 시설의 법적 의무사항 적용여부 검토 결과 ..	72
〈표 III-1〉 국내 폐플라스틱 열분해 사업장의 화재·폭발 사고 현황('10~'21년) ..	78
〈표 III-2〉 외국의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 화재·폭발 사고사례	81
〈표 III-3〉 폐플라스틱 열분해 공정에서 발생한 사고 원인('10~'21년) ..	86
〈표 III-4〉 폐플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 기계적 원인	92
〈표 III-5〉 폐플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 관리적 원인	93
〈표 III-6〉 폐플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 인적 원인	94
〈표 III-7〉 폐플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 물질·환경적 원인 ..	94
〈표 III-8〉 시스템 구성요소별 사고기여요인	98
〈표 III-9〉 업무절차에 따른 사고기여요인	100
〈표 IV-1〉 플라스틱 열분해 시 생성되는 가스, 오일, 숯의 반응기별 비율 ..	111
〈표 IV-2〉 무촉매 및 촉매 열분해 시 생성되는 가스, 오일, 숯의 비율 ..	112
〈표 IV-3〉 폐플라스틱 열분해가스의 조성	115

〈표 IV-4〉 폐플라스틱 열분해가스의 폭발범위 및 자연발화온도	116
〈표 IV-5〉 폐플라스틱 종류에 따른 열분해유의 유동점 및 인화점	119
〈표 IV-6〉 열분해유의 화재폭발 및 물리적 특성 시험 결과	120
〈표 IV-7〉 폐플라스틱 열분해 공정 및 설비의 위험요인	126

그림목차

[그림 II-1] 연간 폐플라스틱 발생량(국내)	13
[그림 II-2] 폐플라스틱의 재활용 기술	16
[그림 II-3] 폐플라스틱 열분해 유화 기술의 흐름	21
[그림 II-4] 폐플라스틱 열분해 유화 공정 예(1)	25
[그림 II-5] 폐플라스틱 열분해 유화 공정 예(2) (일본 후지리싸이클) ...	26
[그림 II-6] 폐플라스틱 열분해 유화 공정 예(3) (에네피아)	26
[그림 II-7] 폐플라스틱 무촉매 및 촉매 열분해 공정 흐름도 및 특성 ..	28
[그림 II-8] 폐플라스틱의 촉매 열분해 유화 공정 예	30
[그림 II-9] 폐플라스틱 열분해 반응기의 종류	31
[그림 II-10] 유동층형 열분해 반응기	34
[그림 II-11] 로터리 킬른 열분해 반응기	35
[그림 II-12] CSTR형 열분해 반응기	37
[그림 II-13] 마이크로파 열분해 반응기	39
[그림 II-14] 관형 열분해 반응기	40
[그림 II-15] 스크류 이송형 열분해 반응기	41
[그림 II-16] 플라즈마 열분해 장치	42
[그림 III-1] 열분해 반응기에서의 사고 발생 개요도(일본)	82
[그림 III-2] 폐플라스틱 열분해 관련 안전제어구조도	97
[그림 III-3] 열분해 반응기 사고의 AcciMap 분석 결과	106

[그림 IV-1] 플라스틱 종류에 따른 열분해 온도와 질량 변화	110
[그림 IV-2] 시료 A, B의 열분석(TGA) 시험 결과	120
[그림 IV-3] 열분해 잔재물 사진	124
[그림 IV-4] 분진폭발시험장치(좌) 및 시험결과(우) (시험농도 500 g/m ³) ..	124
[그림 IV-5] 분진폭발 시험 후 화학점화기 전선의 탄화 상태	125
[그림 IV-6] 최소점화에너지 측정장치(좌) 및 시험결과(우)	125

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

플라스틱은 석유화학공정에서 생산되는 대표적인 고분자 물질로 성형가공을 통해 식품 및 과자류 포장재, 사무용 기기, 볼펜, 책받침, 액자 등의 생활 및 사무용품, 선박, 비행기, 자동차, 산업기계 등의 산업용 부품, 건축자재, 농업용 필름, 어구류 등으로 다양하게 사용된다(김성수, 2008). 그러나 저렴하면서도 가공이 쉽고 뛰어난 물성을 가진 플라스틱의 사용량 증가는 인류에 편의성과 환경파괴라는 결과를 동시에 가져다주었다(Chamas 등, 2020). 전 세계적으로 매년 약 3억 톤이 넘는 플라스틱이 생산되고 있는데 플라스틱 재활용을 위한 전 세계적인 노력으로 꾸준히 재활용률은 증가하고 있으나 아직까지 절반 이상의 양은 수거되지 못하고 폐기물의 형태로 배출되어 매립 또는 소각 처리되고 있다(OECD, 2018).

플라스틱의 재활용 방법은 1) 단일 또는 복합 재질의 플라스틱을 회수하여 재활용되는 물질을 선별 및 회수하여 기계적으로 재활용하는 방법, 2) 플라스틱 단일 연료(refuse plastic fuel, R.P.F) 또는 플라스틱과 가연성 쓰레기 혼합 연료(refuse derived fuel, R.D.F)를 제조하여 제철소 또는 시멘트공장에서 전기 및 열원으로 활용하는 방법 3) 열분해나 가스화와 같은 공정을 통해 폐플라스틱으로부터 연료 및 화학 원료물질을 생산하는 화학적 재활용 방법으로 구분할 수 있다(PWMI, 2019).

최근 폐플라스틱의 화학적 재활용 분야는 온실가스를 유발하는 연료로의 활용보다는 자원 재순환의 개념을 적용하여 석유·화학 원료로 전환하는 방향의 기술 수요가 산업계를 중심으로 요구되고 있고, 이에 따라 폐플라스틱의 열분해 유화에 대한 관심 높아지고 있다(노남선 등, 2021).

폐플라스틱의 열분해란 약 400 ℃에서 600 ℃ 사이의 중고온 무산소 조건

에서 플라스틱을 환원 분해시켜 저분자화합물로 전환시키는 화학반응이다(Czajczyńska 등, 2017). 열분해를 이용하면 플라스틱으로부터 등유나 경유와 유사한 연료로 사용할 수 있는 액상 오일과 석유화학공장의 원료로 사용할 수 있는 나프타(Naphtha)까지도 생산할 수 있다. 또한 열분해 방식으로 폐플라스틱을 처리하면 소각 대비 최대 61%의 이산화탄소 배출을 절감¹⁾할 수 있으며, 생산된 열분해유로 플라스틱을 생산 시에는 석유 이용 대비 85% 이상의 이산화탄소 감축효과²⁾가 있는 것으로 보고되고 있다.

이러한 열분해의 장점을 고려하여 환경부에서는 2021년 6월에 폐플라스틱의 열분해 처리 비중을 현행 0.1%에서 2025년 3.6%, 2030년 10%까지 높이겠다는 “폐플라스틱 열분해 활성화 방안”을 발표하였다(환경부, 2021). 이러한 정책을 통해 2025년까지 연간 폐플라스틱 4만톤 규모의 시설 10개소를 지자체에 시범 설치하고, 2030년까지 전체 기초지자체(226개)의 20% 이상에 열분해 설비를 설치하여 운영할 예정이라고 하였다(환경부, 2020; 환경부, 2021).

정부의 폐플라스틱 열분해 활성화 정책 외에도 국내 대기업 정유 3사는 열분해유를 석유정제공정 및 석유화학공정에 투입할 수 있도록 하는 방안을 정부에 제안하였고, 2021년 9월에 정부에서 통과되었다. 이로써 주로 보일러 등의 연료유로만 사용되던 폐플라스틱 열분해유의 활용범위가 확대되었다. 따라서 폐플라스틱 처리 사업이 빠르게 확대되면 관련 사업장 수도 지속적으로 증가될 것으로 예상된다.

국내에서는 현재 20여개 사업장에서 폐플라스틱 열분해 유화 시설을 보유·운영하고 있으나 대부분 10인 미만의 소규모 사업장이고, 운영기간이 5년 미만인 곳이 많아 체계적인 안전관리를 기대하기 어렵다. 이에 따라 환경부에서 폐플라스틱 열분해설비에 대한 설치 및 검사기준을 준비하고 있지만, 아직까지는 설치 및 운영과 관련된 법안이 시행되지 않고 있다. 그리고 많은 폐플라스틱 열분해 사업장이 폐기물처리업으로 등록되어 있어 산업안전보건법에 따른 공정안전

1) BASF LCA Study 결과 소각 시 이산화탄소 1.8톤 배출, 열분해 시 0.7톤 배출

2) Agora(독 연구기관)의 연구결과에서 플라스틱 1톤 생산 시 석유는 2.9톤, 열분해유는 0.3톤의 이산화탄소 배출

보고서 및 유해위험방지계획서 심사대상에서 제외되는 경우가 많다. 이에 따라 폐플라스틱 열분해 설비의 안전장치 미설치, 공정관리 미흡, 열분해가스 누출 등의 원인으로 인한 화재·폭발 사고가 최근 다수 발생하였지만 사고를 예방하기 위한 뚜렷한 방안은 물론 관련 업계의 안전실태도 명확하게 파악되지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱 재활용 분야의 대안기술로 주목받는 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장 실태를 파악하고, 관련 법규 조사, 사고사례 조사 및 분석, 공정 위험 분석, 공정 취급 및 생성 물질에 대한 화재·폭발 특성 조사 및 시험 등을 통해 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장에서의 화학사고 예방을 위한 제도적·기술적 안전관리 방안을 마련하고자 하였다.

2. 연구내용

본 연구과제의 수행내용 및 범위는 다음과 같다.

- 국내 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장, 공정 및 설비 등에 대한 안전 실태 조사
 - 폐플라스틱 열분해 유화 공정의 종류 및 특징
 - 국내 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장 현황
 - 국내·외 폐플라스틱 열분해 유화 시설 및 공정 관련 규제 현황
- 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장에서 발생한 사고사례 조사 및 분석
 - 국내·외 폐플라스틱 열분해 사업장에서 발생한 사고사례 조사
 - 국내 사업장에서 발생한 사고사례의 시스템적 분석
- 폐플라스틱 열분해 유화 공정에서 생성되는 화학물질에 대한 물리·화학적 특성 조사 및 시험
 - 열분해를 통해 생성된 오일의 인화점, 자연발화점, 열분석 및 고체 물질의 화재·폭발 특성 등
- 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장의 화학사고 예방을 위한 안전관리 방안
 - 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장의 화학사고 예방을 위한 제도적 관리 방안
 - 폐플라스틱 열분해 공정의 위험성에 따른 안전관리 방안

3. 연구방법

본 연구과제의 주제별 연구방법은 다음과 같다.

- 폐플라스틱 열분해 유화처리 관련 실태조사
 - 폐플라스틱 열분해 유화 사업장 현황 조사(목록 작성)
 - 문헌 검색 및 사업장 방문 조사(상황에 따라 전화 인터뷰 실시)
 - 국내 관련 법규/기준 및 외국(일본 등)의 관련 규제 현황 조사
- 사고사례 조사 및 분석
 - 열분해 유화 처리 사업장의 산업재해 조회 및 재해조사의견서 조사 및 분석
 - 웹페이지 검색을 통한 국외 사고사례 조사
 - AcciMap과 STAMP-CAST를 이용한 국내 사고사례의 시스템적 분석
- 폐플라스틱 열분해 유화 공정에서 생산된 물질의 물리·화학적 특성 시험·분석
 - 문헌조사를 통한 폐플라스틱 열분해유의 물리적 위험성 파악
 - 사업장에서 채취한 시료의 인화점 및 자연발화점 시험, 열분석 실시
- 화학사고 예방을 위한 안전관리 방안 도출
 - 실태조사, 사고분석, 물질 특성 조사 및 시험 결과를 토대로 화학사고 예방을 위한 제도적·기술적 안전관리방안 제안하고, 전문가 의견수렴

4. 용어의 정의

본 보고서에서에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “열분해(Pyrolysis)”라 함은 폐합성수지를 무산소 또는 저산소에서 고온으로 가열하여 가스, 액체 오일, 탄화물(char & cokes)로 변환시키는 화학적 분해반응이다.
- (나) “열분해유”라 함은 열분해 반응기에서 발생한 열분해가스를 응축시켜 생성된 오일 또는 그 오일을 증류 등의 후처리를 통해 얻은 오일을 말한다.
- (다) “열분해설비”라 함은 폐합성수지의 열분해를 통해 열분해유를 생산 및 저장하기 위해 필요한 설비 일체를 말한다.
- (라) “열분해 반응기”라 함은 폐합성수지의 열분해가 발생하는 설비를 말한다.
- (마) “가열기”라 함은 LPG, 열분해가스, 등유, 열분해유 등의 원료를 연소시켜 열분해 반응기를 가열하기 위한 설비를 말한다.
- (바) “열분해가스”라 함은 열분해 반응기에서 폐합성수지가 열분해 되는 과정에서 발생하는 가스를 말한다.
- (사) “열분해 잔재물”이라 함은 폐합성수지의 열분해가 완료된 후에 반응기에 남은 탄화물(char, cokes 등) 및 고체상의 물질을 말한다.
- (아) “왁스(wax)”라 함은 폐합성수지를 열분해하여 발생하는 물질 중 냉각되었을 때 페이스트(paste)와 같은 상태인 물질을 말한다.
- (자) “소각설비”라 함은 폐합성수지의 열분해 과정에서 발생한 열분해가스 중 응축되지 않은 가스를 소각시키기 위한 설비를 말한다.

Ⅱ. 폐플라스틱 열분해 관련 현황 및 기술



II. 폐플라스틱 열분해 관련 현황 및 기술

1. 폐플라스틱 관련 현황

1) 폐플라스틱의 발생 및 처리현황

(1) 합성수지 종류별 생산 및 판매 현황

우리나라는 미국, 독일, 일본에 이어 세계 4위의 플라스틱 생산국가로서 2020년을 기준으로 약 1,517만 톤의 플라스틱을 생산하여 936만 톤을 해외로 수출하고, 해외에서 약 69만 톤을 수입하여 국내에서 약 651만 톤을 소비하였다. 플라스틱 종류별로는 PP의 수요량이 156만 톤으로 가장 많고 다음이 HDPE와 PVC인 것으로 나타났다<표 II-1>(한국석유화학협회, 2022).

(2) 폐플라스틱 발생 현황¹⁾

2017년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황에 따르면 2016년도 한국의 플라스틱 폐기물발생량은 710만 톤으로 2015년보다 약 20만 톤 늘어났으며, 2012년부터 2016년까지 5년간 연평균 약 7.2% 증가하는 것으로 나타났다. 2016년 플라스틱 폐기물의 구성 비율은 사업장배출시설폐기물이 56.0%를 차지하여 가장 큰 비중을 나타냈으며, 생활계폐기물(가정+사업장)이 36.7%, 건설폐기물 7.3%인 것으로 조사되었다([그림 II-1], <표 II-2>). 이 중 생활계 폐기물(가정+사업장)의 발생량은 2016년 261만 톤으로 2015년 대비 11.9% 증가한 것으로 나타났으며, 가정생활폐기물은 196만 톤, 사업장생활계폐기물은 64만 톤으로 2015년 대비 각각 10.0%, 18.2% 증가하였다.

1) 출처: 김형욱 등, 폐플라스틱류 수집 및 재활용 현황과 정책 방향. J. Korea Soc. Waste Manag., Vol. 35, No. 6, pp. 471-480, 2018

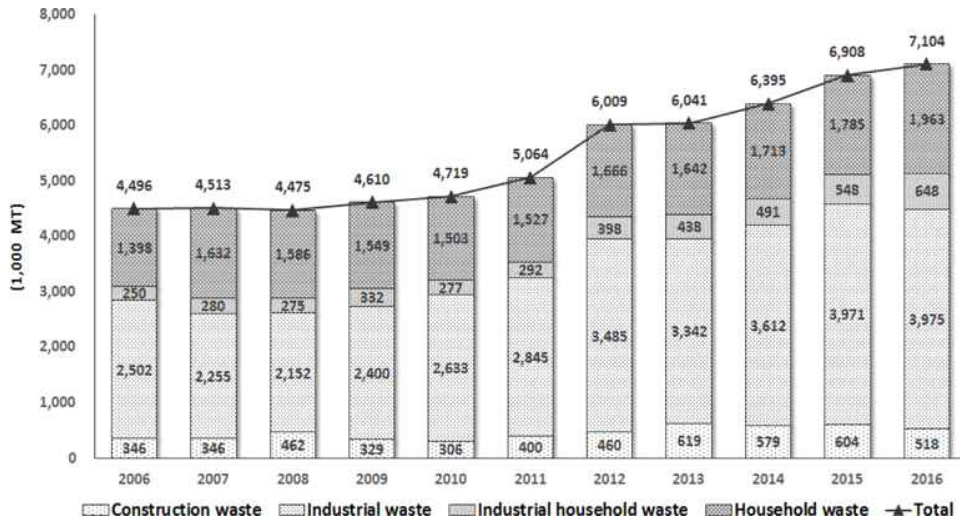
〈표 II-1〉 합성수지 종류별 생산 및 판매 현황(2020년 기준)

(단위: 천톤)

종류	생산량	수출량	수입량	국내수요
계	15,175	9,356	691	6,507
LDPE	641	370	139	409
L-LDPE	1,480	807	152	825
EVA	761	677	7	91
HDPE	2,530	1,578	163	1,114
PP	4,604	3,071	29	1,562
PS	651	483	14	182
EPS	363	76	34	320
ABS	1,930	1,348	9	591
PVC	1,474	565	95	1,004
PC	741	381	49	409

[출처: 한국석유화학협회 홈페이지]

사업장배출시설계폐기물은 2015년에는 2014년 361만 톤보다 35만 톤(9.9%) 증가하여 397.1만 톤이 발생되었으나, 2016년에는 397.5만 톤으로 2015년과 비슷한 수준을 보였다. 건설폐기물은 2015년 대비 9만 톤(16.6%) 감소한 51만 톤으로 나타났다. 폐기물의 종류에 따른 페플라스틱의 구성 비율에는 큰 변화가 발생하지 않았으나, 발생량의 경우 2007 ~ 2011년 까지 소폭 증가하는 추세를 보이다 2011년 이후 크게 증가하였고 이후 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다.



[그림 II-1] 연간 폐플라스틱 발생량(국내)

[출처: 김형욱 등, 폐플라스틱류 수집 및 재활용 현황과 정책 방향, 2018]

〈표 II-2〉 폐기물 형태에 따른 폐플라스틱 구성 비율

연도	건설폐기물	산업폐기물	산업생활계폐기물	생활계폐기물
2014	9.0%	56.5%	7.7%	26.8%
2015	8.7%	57.5%	7.9%	25.9%
2016	7.3%	56.0%	9.1%	27.6%

[출처: 김형욱 등, 폐플라스틱류 수집 및 재활용 현황과 정책 방향, 2018]

(3) 폐플라스틱 처리 현황²⁾

한국의 플라스틱 폐기물 재활용률은 2012년부터 2016년도까지 5년간 연평균 3.1% 증가하였으며, 특히 2016년도 플라스틱 폐기물은 2015년 대비 5.0% 증가한 431만 톤이 재활용되었고 242만 톤은 소각, 36만 톤은 매립의 방법으로 처리되었다. 매년 플라스틱제품의 생산량이 증가함에 따라 폐기물 처리량도

2) 출처: 김형욱 등, 폐플라스틱류 수집 및 재활용 현황과 정책 방향. J. Korea Soc. Waste Manag., Vol. 35, No. 6, pp. 471-480, 2018

증가하였으며, 재활용처리량은 2011 ~ 2015년까지 5년간 9.3% 증가하였다(김형욱 등, 2018; 김효준, 2020). 반면 같은 기간 동안 매립으로 처리된 비율은 0.7% 감소한 것으로 나타나 플라스틱 처리방법 중 재활용 비율은 증가하고 소각과 매립은 감소 추세를 보이는 것으로 확인되었다(김형욱 등, 2018).

매립으로 처리하는 비율은 최근 5년간 0.7% 감소하여 2016년에 36만 톤이 매립으로 처리되었으나, 소각처리량은 5년 평균 236만 톤으로 여전히 높은 수준을 유지하고 있는 것으로 파악되었다. 2016년 기준 재활용량은 약 432만 톤으로 발생량 중 60%가 재활용으로 처리되었다(표 II-3). 2005년 이후 재활용처리 비율은 꾸준히 증가하는 추세로 나타났으며, 이는 국제시장의 원자재가격이 인상됨에 따라 재활용가능자원의 가격 증가가 그 원인으로 판단되며, 2003년부터 시행된 생산자책임재활용제도(EPR)와 2008년부터 시행된 자발적협약제도(V.A)와 같은 정부주도로 시행된 정책이 유효한 정책수단으로 작용한 것으로 판단된다(김형욱 등, 2018).

또한, 2006 ~ 2015년까지의 한국의 1인당 폐플라스틱 발생량 및 재활용 양의 경우 1인당 사용량이 증가함에 따라 재활용양 또한 꾸준히 증가하여 2016년 1인당 131.2 kg의 폐플라스틱이 발생하였으며, 재활용률은 2007년부터 지속적으로 증가하여 2010년을 기점으로 평균 50%대로 진입하였고 2016년을 기준으로 60.8% 로 나타났다(김형욱 등, 2018).

〈표 II-3〉 폐플라스틱 처리 현황

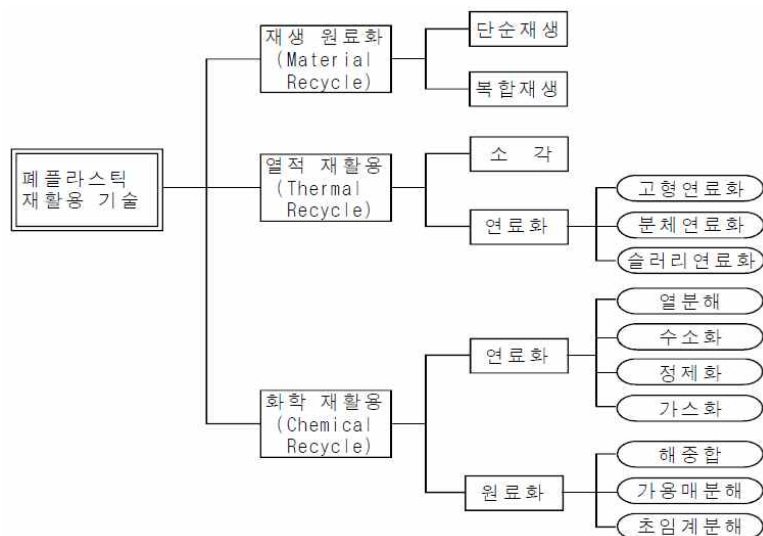
(단위: 천톤)

연도	소각	매립	재활용
2007	2,096	512	1,904
2008	1,856	443	2,176
2009	1,905	410	2,294
2010	1,789	394	2,535
2011	2,065	358	2,641
2012	2,405	337	3,265
2013	2,297	371	3,372
2014	2,242	323	3,829
2015	2,445	346	4,113
2016	2,421	365	4,319

[출처: 김형욱 등, 폐플라스틱류 수집 및 재활용 현황과 정책 방향. 2018]

2. 폐플라스틱 재활용 기술

현재 가장 많이 사용되고 있고, 그 폐기물 발생량 또한 많아 문제가 되고 있는 플라스틱은 크게 폴리에틸렌(polyethylene, PE), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리염화비닐(polyvinylchloride, PVC), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리스티렌(polystyrene, PS)으로 구분할 수 있다(Grigore 등, 2017). 이러한 플라스틱의 재활용 기술은 [그림 II-2]과 같이 분류, 분쇄, 용융하여 원료로 재활용하는 물질 재활용(원료화)(Material recycle), 소각하여 폐플라스틱이 가지고 있는 열에너지를 회수하는 열적 재활용(Thermal recycle or Energy recycle), 화학적 처리를 통하여 원료물질이나 액체 및 고체연료로 전환시키는 화학적 재활용(Chemical recycle)의 3 가지로 크게 분류할 수 있다(신대현 등, 2006).



[그림 II-2] 폐플라스틱의 재활용 기술

[출처: 신대현 등(2006, “고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술 개발”)의 한국에너지기술연구원 연구보고서에서 재인용]

〈표 II-4〉 폐플라스틱 재활용 구분

구분	기술명	세부 내용
물질 재활용	Primary Recycling	새 원료와 동일한 용도로 활용
	Secondary Recycling	저급 연료로서 저가품 생산에 활용
화학적 활용	Solvolysis	용매를 사용한 화학적 분해로 원료 생산
	Hydrogenation	수소 첨가반응에 의한 화학적 분해로 화학원료 생산
	Pyrolysis	가열에 의한 열적(촉매) 분해에 의해 석유화학 원료 또는 연료 생산
	Gasification	공기, 수증기 등의 첨가반응에 의한 화학적 분해로 합성가스 생산
	Polymer dissolution	선택성을 갖는 용매에 의한 원료 생산
열적 재활용	Incineration	직접 연소에 의한 감량화 및 열회수
	RDF Technology	전처리 선별 후 성형에 의한 고체연료 생산

[출처: 신대현 등(2006, “고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술 개발”)의 한국에너지기술연구원 연구보고서에서 재인용]

1) 물질 재활용(원료화)³⁾

일반적으로 열가소성 플라스틱을 주된 대상으로 하고 있는 물질 재활용(Material recycle)은 단순재생(Primary recycle)과 복합재생(Secondary recycle)으로 구분할 수 있다. 단순재생이란 “수집한 폐플라스틱을 선별, 파쇄, 세척 과정을 통하여 재생가공한 후에 다시 성형재료로서 사용하는 것을 의미”하며, 주로 단일 종류의 비교적 양호한 성질을 가진 폐플라스틱에 제한적으로 적용되는 기술이다. 복합재생은 “단순 재생되지 않는 저품질의 폐플라스틱을 저급의 성형제품으로 재생 사용하는 것을 의미”하며, 플라스틱 혼합물을 그대로 처리하여 사용한다(신대현 등, 2006).

물질 재활용 기술은 다양한 종류의 폐플라스틱이 혼합물 상태로 배출되기 때문에 수집하는데 한계가 있으며, 여러 종류가 화합된 폐플라스틱의 경우 상분리로 인하여 물성이 원래 플라스틱 자체의 물성보다 떨어지고, 또한 재생 방법에 의해 재사용된 후에도 다시 폐플라스틱으로 배출되기 때문에 궁극적인 처리방법이라고 보기 어렵다(신대현 등, 2006).

2) 열적 재활용⁴⁾

폐플라스틱은 8,000 ~ 10,000 kcal/kg의 높은 발열량을 가지고 있으므로, 폐플라스틱을 소각함으로써 에너지를 회수하는 방법이 열적 재활용 방법이다. 이 방법은 폐플라스틱을 분리하거나 분쇄하여 그대로 소각시키는 기술과 고형연료, 분체연료, 슬러리 연료 등으로 가공하여 소각하는 기술로 구분할 수 있다(신대현 등, 2006).

폐플라스틱을 소각하여 에너지를 회수하면 폐기물 부피를 상당히 줄일 수 있다. 또한, 회수된 에너지에 해당하는 연료의 사용량을 감소시킬 수 있다는 경제적인 장점이 있다. 그러나 이 방법은 소각 처리 시 배출되는 유해가스가

3) 출처: 신대현 등. 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술 개발. 한국에너지기술연구원 연구보고서 2A-A-1-1. 2006.

2차 오염을 유발하는 심각한 사회적 문제점을 가지고 있다. 따라서 미국, 유럽, 일본 등의 선진국을 비롯한 대부분의 국가에서는 폐플라스틱의 처리 및 재활용에 대한 종합적인 대처 방안으로써 소각에 의한 에너지 회수 기술을 포함시키고 있다. 그러나 환경보호 차원에서 기존 소각설비의 운전을 동결하거나 소각설비의 신설과 증설을 억제하려고 하는 움직임이 세계적인 추세가 되고 있는 상황이다(신대현 등, 2006).

3) 화학적 재활용⁴⁾

폐플라스틱을 고분자 소재로 재사용하는 재활용 방안(물질 재활용)과 연소를 통해 에너지를 회수하는 재활용 방안(열적 재활용)의 중간적인 방법으로 볼 수 있는 화학적 재활용(Chemical Recycle)은 화학적인 방법을 이용하여 Monomer, Oligomer 등의 플라스틱 원료 화합물, 석유화학 원료, 액상 및 기상의 연료 등으로 전환하는 재활용 방법을 의미한다. 크게 열분해 방법과 촉매, 용매, 초임계 유체 등을 이용하는 화학분해 방법으로 구분할 수 있다(신대현 등, 2006).

화학적 재활용 방법은 열역학적으로 비교적 많은 에너지가 소요되고, 적용 가능한 플라스틱의 종류가 다소 제한적이지만 최근에 재활용이 불가한 소재에 대한 사용 금지 경향이 있어 현재 선진국에서 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 폐플라스틱 재활용 기술 분야 중 하나이다(신대현 등, 2006).

폐플라스틱의 화학적인 재활용 방법 중에서 원료화 방법은 가수분해(Hydrolysis), 글리콜화(Glycolysis), 메탄올화(Methanolysis), 아미노화(Aminolysis), 에스테르화(Transesterification) 등과 같은 해중합(Depolymerization), 정제(Refinery), 수소화(Hydrogenation), 개면전통 가스화(Electrokinetic Gasification), 용융금속분리(Molten metal bath), 열분해(Advanced pyrolysis), 고분자 용해(Polymer dissolution), 초임계유체 반응 등과 같은 기술을 통하여 폐플라스틱

4) 출처: (1) 신대현 등. 고분자 폐기물로부터 고급연료유 생산공정 실용화. 과학기술부 연구 보고서. 2003.

(2) 신대현 등. 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술 개발. 한국에너지기술 연구원 연구보고서 2A-A-1-1. 2006.

을 플라스틱의 원재료인 단량체로 회수하거나 화학연료로 전환하는 방법이다(신대현 등, 2003).

대표적으로 LDPE, HDPE, PS 및 PVC로 이루어지는 폐플라스틱의 혼합물(PE가 대부분)로부터 에틸렌을 회수한다든가, 폐기된 HDPE 용기로부터 α -올레핀을 회수하는 것과 같은 단량체의 회수로부터 혼합 폐플라스틱을 열분해해서 액상의 탄화수소를 제조하고 이것을 석유화학제품의 원료로 사용하는 것을 폐플라스틱의 화학적 재활용 예로 볼 수 있다(신대현 등, 2006).

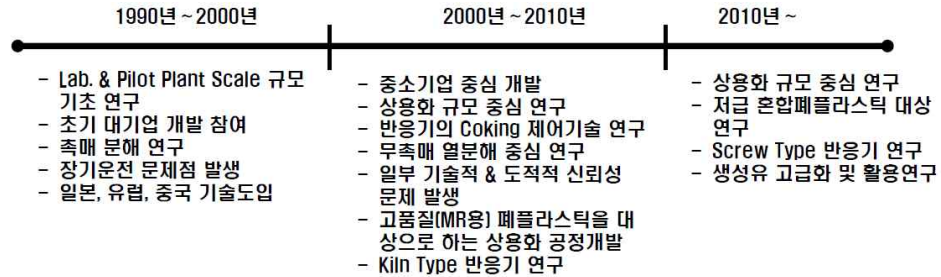
일반적으로 두 작용기 사이의 축중합을 통하여 얻어진 폴리아미드, 폴리에스터, 폴리우레탄 등의 플라스틱 물질은 일차적인 사용 후 화학적인 재활용 방법을 통하여 비교적 손쉽게 원료물질인 Monomer 또는 Oligomer의 형태로 회수하여 재활용할 수 있는 것으로 알려져 있다(신대현 등, 2006).

3. 국내 페플라스틱 열분해 관련 연구개발 현황

국내의 페플라스틱의 열분해 공정 관련 기술 개발 연구는 [그림 II-3] 및 <표 II-5>와 같이 1990년대 연구를 기반으로 2000년 이후에 본격적으로 추진되었다. 1990년대에는 기초 연구 및 소규모 공정 개발 중심으로 연구를 추진하였고, 일부 대기업이 참여하기도 하였다. 2000년대에는 중소기업을 중심으로 열분해 유화 공정의 상용화 연구를 추진하였고, 무촉매 열분해에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 2010년대에는 열분해 유화 공정의 상용화 규모 중심 연구와 저급 혼합페플라스틱 대상 연구, 생성유의 고급화 및 활용 중심의 연구를 수행하였다(오세천, 2019).

국내 대기업에서는 <표 II-6>과 같이 페플라스틱 열분해유 관련 기술을 개발하고 활용하기 위한 방안을 추진 중이며 관련 연구도 함께 진행 중이다. 그리고 환경부에서는 2030년까지 페플라스틱의 열분해 처리 비중을 10%까지 높이겠다는 정책을 발표하였고, <표 II-7>과 같이 2025년까지 페플라스틱 재활용 고도화 기술개발사업을 추진할 예정이다. 산업통상자원부에서는 석유화학 분야의 탄소중립 대응방안으로 페플라스틱의 열분해 기술을 선정하였다.

이와 같이 국내 페플라스틱 열분해는 아직까지 기술개발 또는 상용화를 위한 연구가 진행 중이기 때문에 안전 관련 사항이 포함된 연구는 거의 찾아보기 어렵다. 신대현 등(2006)의 일부 연구보고서에서 연구를 통해 개발 및 제작한 설비에 대해 공정안전보고서를 작성하여 제시한 사례가 있지만 대부분의 연구는 열분해유 생산을 위한 공정개발 연구, 수율 또는 품질을 높이기 위한 연구, 상용화 연구 등 기술개발에 초점이 맞춰져 있다. 따라서 앞으로 설비와 공정의 안전성 확보 및 향상에 초점을 맞춘 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 판단된다.



[그림 II-3] 폐플라스틱 열분해 유화 기술의 흐름

[출처: 오세천, “국내 폐플라스틱의 제도적 및 기술적 현황과 이슈(발표자료), 2019]

〈표 II-5〉 플라스틱 열분해 유화 관련 연구 수행 현황

연구과제명	수행기관	기간
폐기물 열분해 반응 연구	한국에너지기술연구원	1988~1990
폐플라스틱 유동층 열분해 공정개발 연구	한국에너지기술연구원	1991~1993
폐플라스틱 열분해 상업화 공정 개발	LG화학	1995~1997
페타이어 오일화 공정 및 플랜트화 기술개발	한국에너지기술연구원	1996~1997
화염열분해를 이용한 열경화성 수지계 폐기물의 청정연료 가스화 기술개발	한국기계연구원	1996~1997
촉매 분해를 이용한 폐유-플라스틱의 고급 연료 유화 기술 연구	한국에너지기술연구원	1996~1998
폐고무류의 초임계유체 열분해 기반 기술 개발	서강대	1997~1999
고분자 폐기물 열분해 공정의 탄소 침적 방지 기술	고려대	2000~2002
고분자폐기물의 연속식 열분해 유화기술 개발	한국에너지기술연구원	2000~2006
오염된 PS계 폐플라스틱의 화학원료화 기술개발	한국화학연구원	2000~2010
폐플라스틱(PE, PP 등)의 초임계 열분해 기술 개발	서강대	2001~2003
폐플라스틱류로부터 대체연료유 생산을 위한 상용화 기술개발	산업자원부(주)리엔텍	2002~2004

연구과제명	수행기관	기간
농촌 폐비닐의 열분해 유화를 위한 전처리 기술 및 공정설계기술 개발	한국기계연구원	2002~2004
혼합폐플라스틱으로부터 대체 연료유 생산기술에 대한 실증연구	산업자원부(㈜삼신기계)	2003~2005
상용화 규모의 폐플라스틱 유화시스템 실증연구	리엔텍	2004~2005
고분자 폐기물 열분해 오일의 고급화 기술개발	KIER	2004~2007
간접 가열 방식에 의한 연속 유화pilot 개발	우성엔지니어링(주)	2004~2008
마이크로파 가열식 페타이어 열분해 기술개발	한국에너지기술연구원	2005~2008
고분자폐기물의 연속식 열분해 유화실용화 기술개발	KIER	2006~2008
저급 폐플라스틱의 킬른형 열분해 설비(3톤/일 규모)를 이용한 고급 정제유 생산기술 개발	동명RPF	2006~2009
디스크 이동식 페타이어 열분해 실증공정 개발	(주)기경IE&C	2006~2009
Polyolefin 및 가정용 혼합 폐플라스틱으로부터 열분해를 통한 BTX-aromatics의 회수	서울시립대	2007~2009
PER 플랜트의 기술성 평가 조사연구	KIER	2008~2009
폐플라스틱의 연속식 열분해 반응 시스템 개발	KIER	2009~2010
6,000톤/년 규모 이상의 종말품 혼합폐플라스틱 열분해 유화공정 개발	경윤하이드로에너지	2010~2013
회분식 열분해 공정의 연속식 공정전환 및 제품 규격화 기술 현장적용	KIER(21세기리씨클링)	2011
폐플라스틱 열분해 및 발전기술 개발	KTR	2011~2012
수출 전략형 열분해 유화공정(6,000 톤/년) 개발을 위한 생산성 및 에너지 효율 향상 기술의 현장 적용 연구	KIER(주)에스에스유화	2014

[출처: 서용철(2019, 폐기물 관리와 에너지화 기술의 역사(발표자료)), 오세천(2019, 국내 폐플라스틱의 제도적 및 기술적 현황과 이슈(발표자료)), 신대현 등(2010, 폐합성수지류의 열분해 유화 기술 동향)의 자료와 자체 검색한 자료를 재정리함]

〈표 II-6〉 국내 대기업에서 추진 중인 폐플라스틱 열분해 관련 사업 및 연구

기관명	기술 개발 내용	비고(출처)
한화솔루션(주)*	- 폐플라스틱 열분해유로부터 납사 생산을 위한 수첨처리/분해/수소화 촉매 개발 및 1톤/일 규모의 촉매 화학적 업그레이딩 파일럿 공정 개발 - PTC* 촉매 및 공정 개발, 연 3만 톤 상업공정 설계(2024년) * PTC(Plastic to Chemical) : 폐플라스틱을 녹인 열분해유에서 불순물을 제거하고 분자 구조를 변화시켜 나프타(납사)를 생산하는 기술	산기평(KEIT)의 소재부품기술개발사업 진행 (2021~2024)
SK종합화학(주)* SK에너지(주)*	폐플라스틱 열분해유(400톤/년)를 SK 울산 석유화학공장에 원료로 투입하여 생산제품 품질 검증 예정	폐플라스틱 열분해 정제유의 석유화학 공장 원료화 실증연구 추진 (2021~2023)
GS칼텍스(주)*	약 2,000배럴의 플라스틱 열분해유를 약 2일간 투입하여 자원순환형 제품 생산 가능성을 실증 예정	
현대오일뱅크(주)*	폐플라스틱 열분해유를 약 45,000톤 이하로 투입하여 친환경 석유제품의 생산 가능성을 검증 예정	
SK지오센트릭**	- PET 해중합 설비 구축, 페비닐 열분해유 전환 설비 구축 등 2025년 폐플라스틱 90만톤, 2027년까지 250만톤 재활용 시설 구축 - 미국 열분해 전문기업 브라이트 마크와 협력하여 연간 10만 톤 규모 열분해 생산설비 구축 3R(Reduce, Replace, Recycle) 솔루션 확대 사업 추진 - 친환경 차량용 플라스틱, 태양광 필름 등의 제품 생산능력 2025년까지 190만톤으로 확대	
SK에코플랜트**	폐기물처리시설 운영사, 해상 풍력발전 플랜트 제조사 인수 등 폐기물 처리 및 친환경 에너지 분야 사업 영역 확대	
LG화학	- 초임계 열분해유 공장을 연산 2만톤 규모로 2024년 1분기까지 건설 예정 - PE, PP를 열분해한 후 납사를 추출해 석유화학공정에 투입	연합인포맥스 기사 (2020.01.18.)

GS칼텍스**	• 페플라스틱 열분해유 전환 설비 구축(2024년 완공 목표)	
현대오일뱅크**	• 페플라스틱 열분해유 정제를 통한 친환경 납사, 친환경 석유제품 생산 사업 추진	
롯데케미칼**	• 2030년까지 생산하는 PET 전량을 화학적 재활용 PET(Cr-PET)로 전환, 연간 24만톤 생산	
두산중공업**	• 페플라스틱 수소생산, 질전 기술개발 및 사업 추진	

[출처: *노남선 등, 페플라스틱의 열화학적 재활용 분야에 대한 국내 동향, 2021

**에코인에너지, 페플라스틱 화학적 재활용 트렌드 및 R&D 사례와 상용화 세미나 발표자료, 2022.4.28.]

〈표 II-7〉 정부에서 추진 중인 페플라스틱 열분해 관련 연구개발 현황

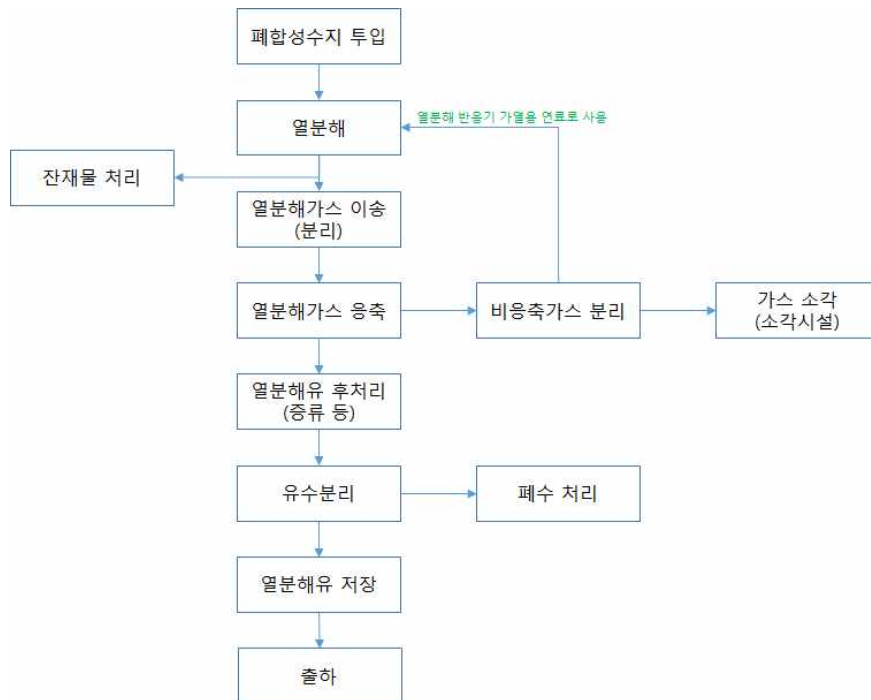
부처	연구과제명	주요 내용	대상 플라스틱
환경부	페PS로부터 스티렌 모노머 생산을 위한 고효율 열분해·분별증류 기술 개발	- 기존 기술 대비 에너지효율 향상을 위해 반응기 내부에서 진보된 열·물질 전달 방식을 사용하는 열분해 기술 개발	PS
	페플라스틱 연속식 열분해 공정 기반 윤활기유 생산 기술 개발	- 회분식 열분해 액화 공정 대비 높은 운전효율, 처리용량 확대를 위한 연속식 열분해 공정 개발 및 활용처 확대 추진	PET, PE, PP, PS, PVC 등
	혼한 페플라스틱 가스화 유래 합성가스 기반 고순도 수소 생산기술 개발	- 열경화성 플라스틱으로부터 고순도 수소를 생산할 수 있는 기술 개발을 통해 페플라스틱의 연료화	열경화성 플라스틱
산업통상자원부	석유화학분야 탄소중립 대응 기술개발사업 예타 기획(안) 마련(2023~2030)	- 플라스틱 업사이클링을 위한 전처리 기술 - 페플라스틱 열분해 오일 생산 및 활용 기술 - 플라스틱 업사이클링 가스화 공정 기술 등	

[출처: 환경부 공고(2021, 2022년 환경기술개발사업(18개) 추진계획 공고 및 사업안내서)와 산업통상자원부 보도자료(2021, 산업부, 6.7조 원 규모의 산업부문 탄소중립 기술개발 예타 기획(안) 마련 - 산업부문 탄소중립 R&D 기획총괄위원회 개최)의 내용을 재정리함]

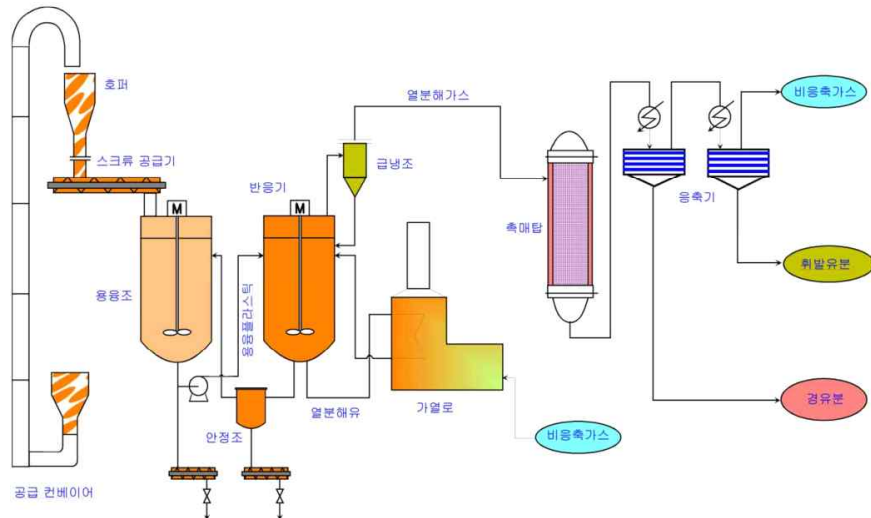
4. 폐플라스틱 열분해 유화 공정

폐플라스틱의 열분해는 유기 고분자인 폐플라스틱을 고온에서 열적인 분해를 통해 오일, 가스, 숯으로 변환하는 재활용기술이다. 열분해 연구는 300~900 ℃ 범위의 다양한 온도에서 수행되었지만 플라스틱 폐기물의 일반적인 최적 온도는 약 500~550℃ 수준인 것으로 보고되고 있다(Mindad 등, 2016).

폐플라스틱 열분해 공정은 일반적으로 [그림 II-4]와 같이 폐플라스틱 투입(공급), 열분해 반응, 응축, 증류, 유수분리, 저장, 가스소각 등으로 구성되며, 열분해 공정별 세부내용은 <표 II-8>과 같다. 업체에 따라서는 [그림 II-5]나 [그림 II-6]과 같이 단위 공정이 추가되거나 제외되는 경우가 있다. 그리고 폐플라스틱 열분해 공정은 촉매를 사용하는 공정과 사용하지 않는 공정으로 구분할 수 있는데, 그 공정흐름 및 특성은 [그림 II-7]과 같다.

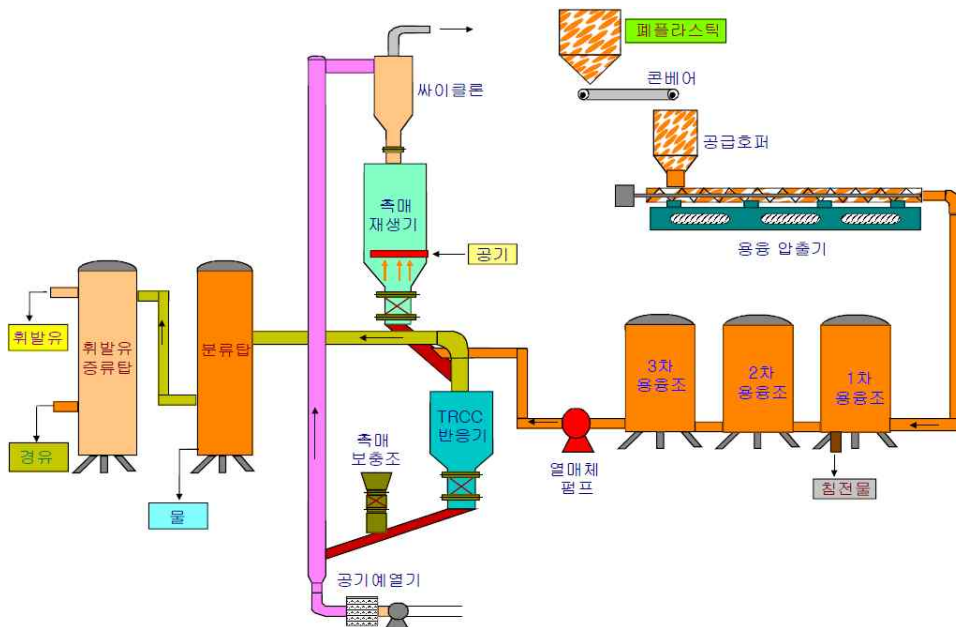


[그림 II-4] 폐플라스틱 열분해 유화 공정 예(1)



[그림 II-5] 페플라스틱 열분해 유화 공정 예(2) (일본 후지리사이클)

[출처: 정수현, 폐비닐류의 친환경처리를 위한 열분해 유화기술의 적용방안, 2019.]

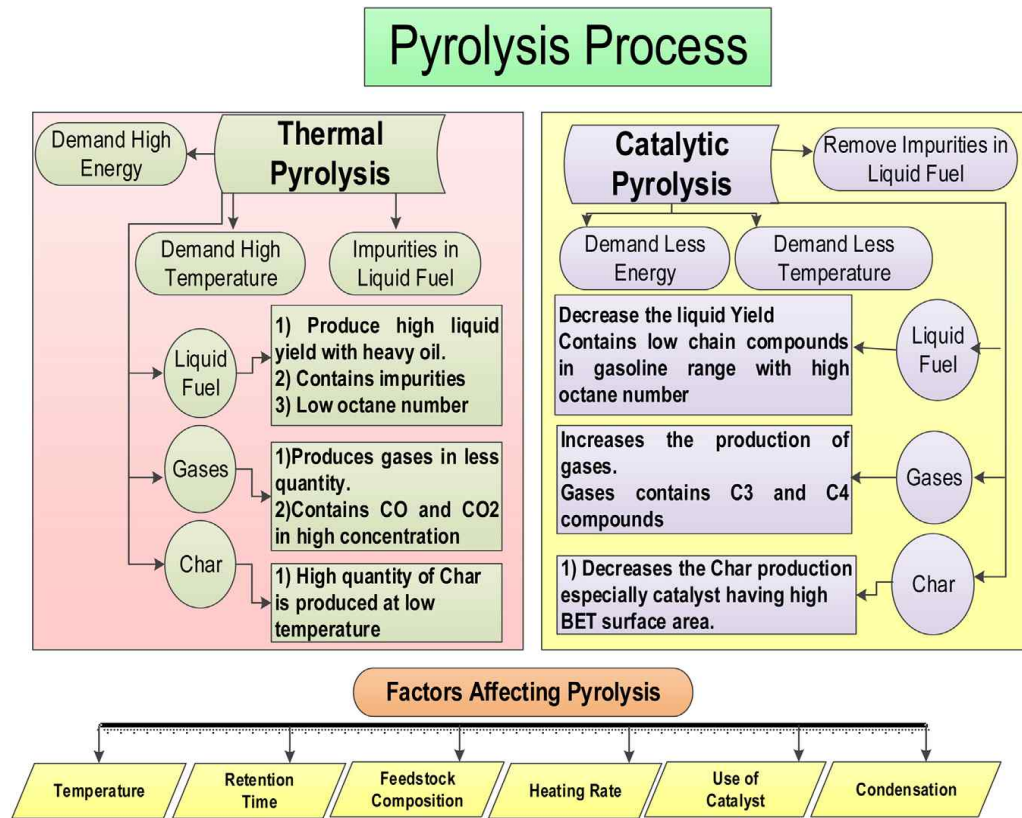


[그림 II-6] 페플라스틱 열분해 유화 공정 예(3) (에네피아)

[출처: 정수현, 폐비닐류의 친환경처리를 위한 열분해 유화기술의 적용방안, 2019.]

〈표 II-8〉 로터리 킬른 열분해 반응기를 이용한 폐플라스틱 열분해 공정(예)

공정구분 (관련 설비)	공정설명
폐합성수지 투입 (작업장 통로 및 지게차)	폐합성수지 보관장소에서 폐합성수지를 운반하여 열분해 반응기에 투입한다.
열분해 (가열기, 열분해 반응기)	가열기에서 발생한 열원을 이용하여 열분해 반응기를 회전시키면서 가열한다.(400~800 °C)
열분해가스 응축 (열교환기)	열분해 설비에서 발생한 가스를 응축하여 열분해유를 생성한다.
비응축가스 분리 (기액분리기)	기액분리기를 이용하여 응축기에서 응축되지 않은 기체와 열분해유를 분리한다.
열분해유 후처리(증류 등) (증류기)	증류기에서 열분해유를 끓는점에 따라 분류하여 인화점을 조절한다.
유수분리 (유수분리기)	비중차를 이용하여 열분해유에서 수분을 분리하고, 폐수는 폐수처리설비로 이송한다.
열분해유 저장 (저장설비)	수분이 제거된 열분해유를 저장설비에 저장한다.
비응축가스 활용 및 소각 (가열기, 소각설비)	응축기에서 응축되지 않은 가스를 가열기로 보내 열원으로 활용하거나 소각설비에서 소각한다.
잔재물 제거 (열분해 반응기)	열분해 반응기 내부에 남은 열분해 잔재물을 제거한다.
출하 (저장설비)	저장설비에 저장되어 있는 열분해유를 탱크로리 등으로 이송한다.



[그림 II-7] 페플라스틱 무촉매 및 촉매 열분해 공정 흐름도 및 특성

[출처: Miandad 등, Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review, 2016]

1) 무촉매 열분해⁵⁾

무촉매 열분해 또는 열분해는 촉매를 사용하지 않는 흡열 공정이다. PE, PP 및 PS 플라스틱을 포함하여 다양한 유형의 플라스틱에 대한 열분해가 광범위하게 수행되었다. PVC, PET, 폴리메틸메타크릴레이트 및 폴리우레탄 열분해에 초점을 맞춘 연구는 찾아보기 어렵다. PE(HDPE 및 LDPE)와 PP를 열분해하기 위해서는 PS보다 더 높은 온도가 필요하기 때문에 PS의 열분해가 PE나 PP에 비해 용이하다. PE는 촉매가 없으면 액체 오일 대신 왁스로 전환되기 쉽다. 무촉매

5) 출처: Miandad et al., Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review, Process Saf. Environ., 102, pp. 822-838, 2016

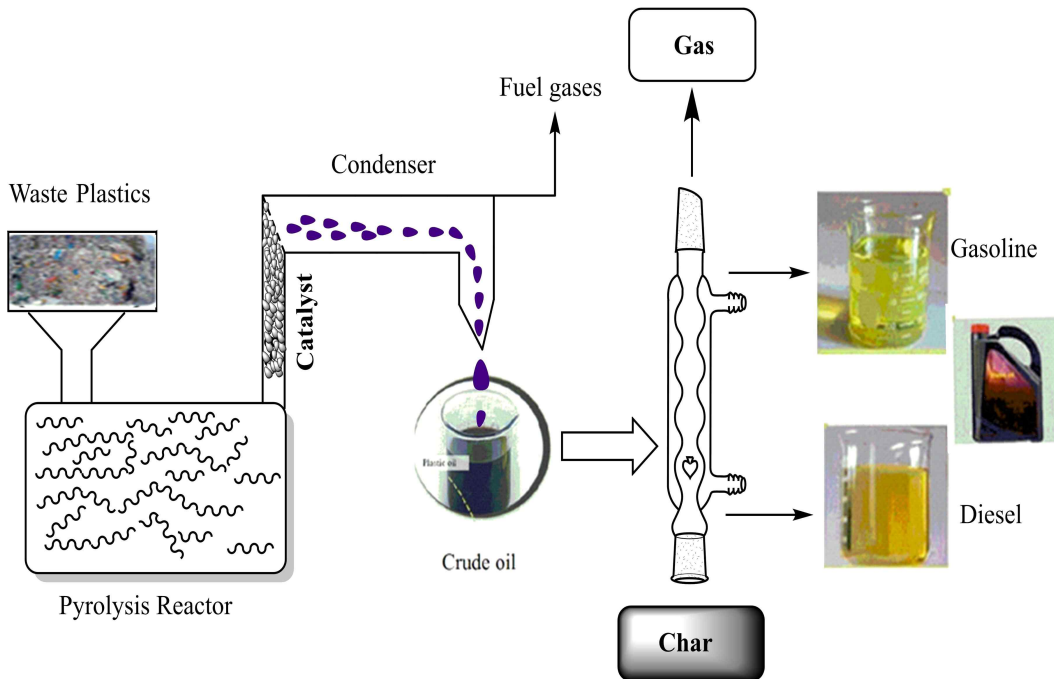
열분해에 의해 생성된 액체 오일은 큰 탄소 사슬 화합물을 포함하고 낮은 옥탄가, 많은 고체 잔재물, 황, 질소, 염소, 인과 같은 불순물이 존재하기 때문에 품질이 낮다(Miandad 등, 2016).

2) 촉매 열분해⁶⁾

촉매 열분해는 촉매를 사용하여 수행된다. 촉매 열분해는 무촉매 열분해에 비해 낮은 온도와 짧은 반응 시간 동안에 폐플라스틱을 개선된 품질의 오일로 전환할 수 있다고 여러 연구결과에 나타나 있다. 따라서 촉매 열분해는 공정에 필요한 에너지 수요를 줄이고 전체 공정을 최적화 할 수 있다. FCC, 폐(spent)FCC, HZSM-5, ZSM-5, Cu-Al₂O₃, Co-Mo/z, Zeolite- β , 천연 제올라이트(NZ), 붉은 진흙(Red Mud), Al(OH)₃Ca(OH)₂, FeO₃와 같은 다양한 촉매가 열분해의 수율과 메커니즘을 향상시키기 위해 사용되었다(Miandad 등, 2016).

HDPE, LDPE, PP, PS와 같은 다양한 플라스틱의 촉매 열분해를 통해 얻은 탄화수소(Hydrocarbons)는 무촉매 열분해와 비교하여 가솔린 범위의 탄화수소를 비롯한 저탄소 사슬의 화합물을 포함하고 있다. 또한 촉매 열분해는 무촉매 열분해보다 기체 발생 비율을 증가시키고 오일의 수율을 감소시킨다고 보고되고 있으며, 무촉매 열분해에 비해 낮은 온도에서 전환율이 증가하는 것으로 보고되었다(Miandad 등, 2016). [그림 II-8]에는 촉매를 사용하는 열분해 공정의 예를 나타내었다.

6) 출처: Miandad et al., Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review, Process Saf. Environ., pp. 102, 822-838, 2016

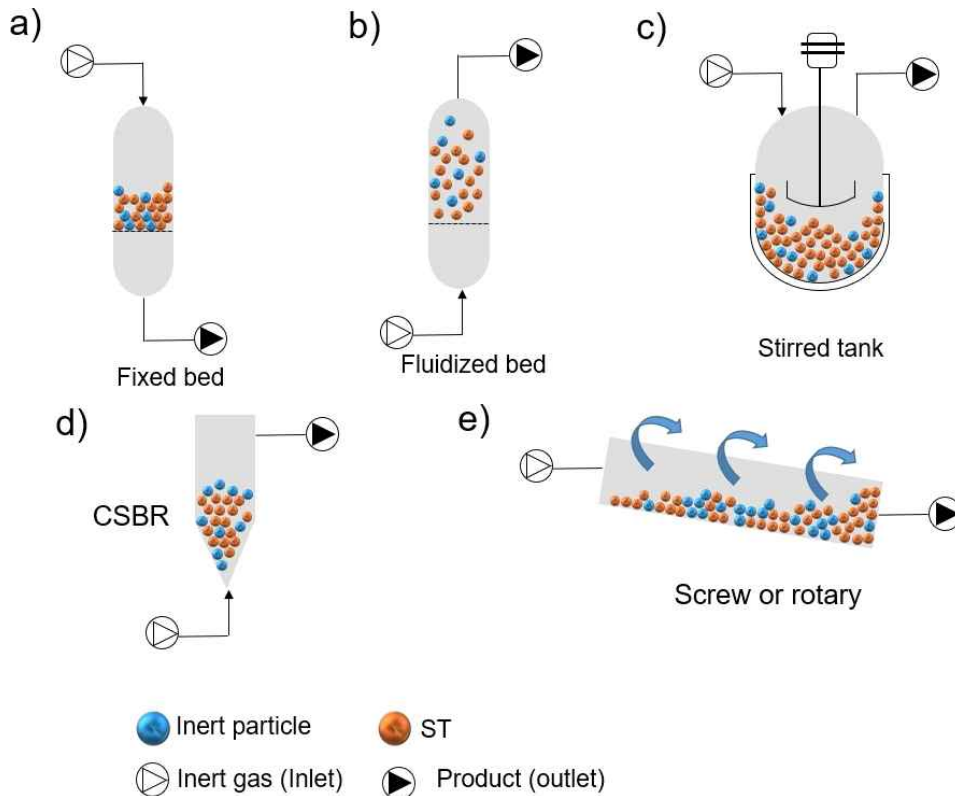


[그림 II-8] 폐플라스틱의 촉매 열분해 유화 공정 예

[출처: Gebre 등, Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, 2021]

5. 폐플라스틱 열분해 반응기의 종류

열분해에 있어서 반응기(reactor)는 열전달, 혼합, 기체 및 액체의 품질, 체류 시간 및 주요 생성물의 배출을 제어하는 데 사용되는 핵심으로 간주된다. 반응기는 회분식(batch) 반응기, 반회분식(semi-batch) 반응기, 연속식(continuous-flow) 반응기로 구분할 수 있고, 연속식 반응기에는 유동층(fluidized-bed), 고정층(fixed-bed), 원추형 분출층 반응기(conical spouted bed reactor, CSBR) 등이 있다. [그림 II-9]에는 대표적인 반응기의 종류를 나타내었다.



[그림 II-9] 폐플라스틱 열분해 반응기의 종류

[출처: Gebre 등, Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, 2021]

1) 회분식과 반회분식 반응기(Batch and Semi-Batch Reactor)⁷⁾

회분식 반응기는 반응이 수행될 때 투입물 또는 산출물의 유입 또는 유출이 없는 폐쇄 시스템으로 작동한다. 회분식 반응기를 이용하면 장기간 동안 반응기에 반응물을 유지할 수 있는 장점이 있기 때문에 높은 전환율을 얻을 수 있다. 그러나 회분식 반응기는 배치마다 제품이 일관되지 않고 배치당 인건비가 높으며 대규모 생산에 적용하기 어려운 단점이 있다.

반회분식 반응기는 시간에 따라 반응물을 추가로 투입할 수 있다는 유연성이 있지만, 인건비의 문제와 대규모 생산이 어렵다는 측면에서 회분식 반응기와 유사하다. 회분식 반응기 또는 반회분식 반응기에서의 열분해는 일반적으로 300 °C에서 900 °C의 온도 범위에서 수행된다. 촉매는 탄화수소 수율을 개선하고 반응기 내부 생성물의 업그레이드를 위해 플라스틱과 함께 첨가되기도 한다. 그러나 이러한 반응기는 촉매 표면에 코크스가 형성되어 시간이 지남에 따라 촉매 효율이 감소하기 때문에 열분해에 바람직하지 않다. 또한 반응 종료 시 잔류물에서 촉매를 분리해야하는 문제가 있다.

회분식과 반회분식 반응기는 매개변수를 쉽게 제어할 수 있기 때문에 높은 오일 수율을 얻기 위한 열분해에 적합하지만 규모 확장이 어려운 단점이 있다.

2) 고정 및 유동층 반응기(Fixed and Fluidized Bed Reactors)⁷⁾

비교적 크기가 일정하고 미분 함량이 낮은 연료에 대해서 고정층 반응기 기술은 간단하고 신뢰성이 있는 것으로 알려졌다. 고정층 반응기는 가스 냉각 및 세정 시스템을 포함하고 있다. 고정층 반응기에서 촉매는 일반적으로 펠릿 형태로 존재하고 고정층에 채워져 있으며, 비교적 설계하기 쉽다. 공급 원료는 외부에서 가열되는 반응기(종종 스테인리스강으로 제조됨) 내부에 놓여진다. 원료 공급 공정에서는 공급 원료의 입자 크기와 형상과 같은 몇 가지 제약 조건이

7) 출처: Gebre S. H. et al., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, ChemistryOpen 10, pp. 1202-1226, 2021.

있는데 이것들이 고려되지 않으면 원료 공급 과정에서 문제를 일으킬 수 있고, 반응이 진행되는 동안 촉매 표면으로의 접근성이 제한적일 수 있다.

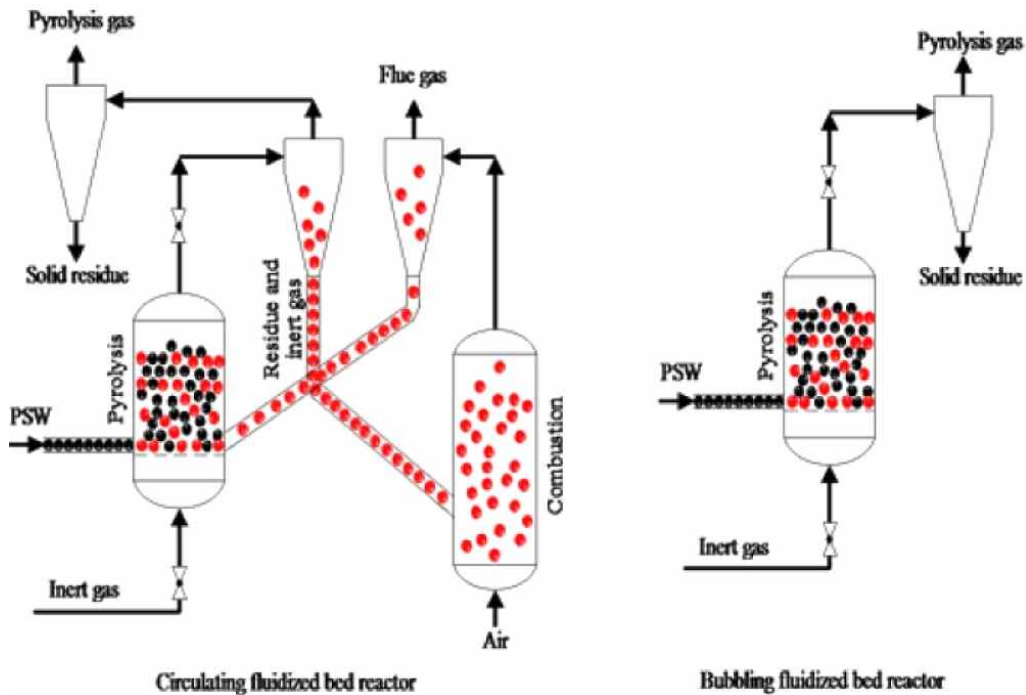
특정 조건에서 고정층 반응기는 단순히 2차 열분해 반응기로 사용되기도 한다. 그 이유는 1차 열분해 생성물은 일반적으로 액체와 기체상으로 구성되어 있어서 고정층 반응기에 쉽게 공급될 수 있기 때문이다. 고정층 반응기는 느린 가열 속도가 특징이며, 낮은 열전달 계수로 인해 시료 내부의 온도가 균일하지 않고, 공급 원료가 다른 온도에서 동시에 분해된다.

반면 유동층 반응기는 고정층 반응기에서 발생하는 몇 가지 문제를 해결할 수 있다. 고정층 반응기와 달리 유동층 반응기의 촉매는 유동화 가스가 통과하는 분배판에 위치하며 입자는 유체 상태로 운반된다. 따라서 입자가 유체와 잘 혼합되면, 촉매에 더 잘 접근할 수 있으므로 균일한 온도 분포에서 반응이 일어날 수 있는 매우 높은 표면적을 제공하게 된다. 이와 같이 높은 열전달 계수로 공정 조건의 가변성을 줄일 수 있다. 또한, 유동층 반응기는 배치 반응기보다 더 유연하고 빈번한 공급 원료 충전을 피할 수 있어 공정을 너무 빈번하게 중지할 필요가 없다. 유동층 반응기는 촉매를 배출할 필요 없이 여러 번 재생할 수 있기 때문에 플라스틱의 촉매 열분해를 수행하는 가장 좋은 반응기로 간주되며 특히 촉매가 매우 고가의 물질인 경우 고려할 가치가 있다. 또한 경제적인 측면에서도 대규모 운전에 가장 적합한 반응기이다. 그러나 유동층 반응기를 사용하는 데에는 몇 가지 문제가 있다. 반응기에 공급되는 원료가 작아야 유체에 뜰 수 있고, 열분해 탄화물(char)과 베드 물질을 분리하기 어렵다는 점이다. 따라서 이러한 유형의 반응기는 대규모 프로젝트에서 거의 사용되지 않고 있다.

김성수(2009) 및 강준구(2022)는 유동층형 반응기의 특징을 다음과 같이 기술하고 있는데, 일부 내용은 Gebre(2021) 등이 제시한 내용과 차이가 있다.

- (1) 열전달 효율이 매우 높으며 반응기내 온도분포가 균일하다.
- (2) 처리량이 크고 대용량 장치로 적합하다.
- (3) 열분해 잔류물이 미세먼지 형태로 배출되므로 집진장치의 설치가 필요하다.
- (4) 코킹 현상이 발생하지 않으나 장치의 내구성 및 안정성이 문제될 수 있다.

- (5) 생성물의 품질이 우수하다.
- (6) 초기투자비는 중간정도이며 유지비가 낮은 편이다.
- (7) 반응기 내의 온도 제어가 용이하다.
- (8) 미세 고체물질의 비말 동반된 입자의 대기 유출을 억제해야 한다.



[그림 II-10] 유동층형 열분해 반응기

[출처: Dai 등, Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review, 2022]

3) 로터리 킬른 반응기(Rotary Kiln Reactors)

로터리 킬른 반응기는 투입한 폐플라스틱의 가열에 있어 고정층 반응기보다 더 효율적이다. 로터리 킬른 반응기는 수평 또는 경사진 반응기를 천천히 회전 시키면서 폐플라스틱을 혼합하여 균일한 열분해 생성물을 생산할 수 있다. 반응기를 천천히 가열하면 가스, 오일 및 잔재물(탄화물)이 비교적 뚜렷한 비율로

생성된다(Gebre 등, 2021).

로터리 킬른 반응기는 다른 반응기에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 예를 들면, 폐플라스틱을 잘 혼합할 수 있고 체류 시간을 유연하게 조정할 수 있으며 이질적인 물질의 공급에 있어 허용 범위가 넓어 다른 반응기에 비해 투입하는 폐플라스틱의 크기에 대한 제한이 적은 편이다(강준구, 2022; 김성수, 2009). 따라서 폐플라스틱의 분류나 분쇄와 같은 광범위한 전처리를 생략할 수 있고, 유지보수가 간단하다. 그러나 로터리 킬른 반응기는 반응기를 회전시키면서 외벽을 통해 간접 가열하는 방식을 이용하기 때문에 열전달 효율이 높지 않은 편이며 반응기 내부의 온도 분포가 균일하지 않다. 그리고 반응기 회전 연결부에 틈새가 발생할 수 있어 이 부분의 밀폐가 매우 중요하며, 반응기 내벽의 코킹(cocking) 및 부식으로 인한 유지비용이 높은 단점이 있다(강준구, 2022; Gebre 등, 2021; 김성수, 2009). [그림 II-11]에는 로터리 킬른 열분해 반응기의 사진을 나타내었다.



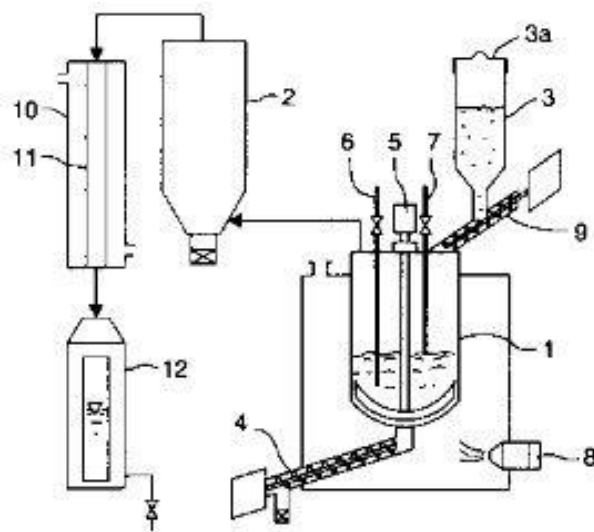
[그림 II-11] 로터리 킬른 열분해 반응기

[출처: 안전보건공단, 화학사고 사례연구-폐기물 열분해 재생유 생산과정 화재 사고, 2021]

4) 교반형 반응기(Stirred Tank Reactors, STR)

교반형 반응기는 폐플라스틱 및 바이오매스의 열분해에 가장 자주 적용되는 반응기이다. 교반형 반응기는 온도 제어가 용이한 고온의 오일(나노 연료 공정)과 같은 열전달 매체를 사용하는 특징이 있으며, 구축 및 작동이 용이하다. 촉매는 플라스틱 폐기물에 직접 추가될 수 있고, 별도의 증기 업그레이드 타워(열연료)를 통해 개질이 수행될 수 있다. 교반기는 용융물에 대한 열전달 향상, 균일한 열 분포 촉진, 단열재 역할을 하는 반응기 벽의 숯(cokes) 침전물 제거 역할을 한다. 숯, 폐촉매 또는 오염물질은 일반적으로 반응기의 바닥에서 제거한다. 그러나 히타치(Hitachi) 공정과 같은 경우는 수직 진공 라인을 통해 바닥에 있는 숯을 진공청소기로 제거하기도 한다. 교반형 반응기의 주요 단점 중 하나는 유지보수가 자주 필요해서 대규모 인프라가 필요하다는 것과 부피당 전환율이 낮고 교반이 불량할 수 있다는 것이다(Gebre 등, 2021).

연속 교반형 반응기(Continuous Stirred Tank Reactors, CSTR)는 회분식의 개선 공정으로 볼 수 있다. 일본 니카타시 유화센터 플랜트가 대표적인 사례로 공정이 단순하지만 열전달이 비효율적이며 반응기내 온도분포가 균일하지 않고 처리용량이 작아 대용량 장치로 적합하지 않은 것으로 보고되고 있다. 또한 반응기 내벽의 코킹 현상이 심하고 열분해 잔류물 배출구가 자주 막히며, 초기 설치비는 저렴하지만 유지보수비가 비싼 것으로 보고되었다(강준구, 2022; 김성수, 2009).



[그림 II-12] CSTR형 열분해 반응기

[출처: 김성수, 폐플라스틱 열분해 기술개발 동향, 2009.]

5) 원추형 분출층 반응기(Conical Spouted Bed Reactors, CSBR)⁸⁾

원추형 분출층 반응기(CSBR)는 큰 입자 크기 분포와 입자 밀도의 차이가 있는 큰 입자를 처리할 수 있으며 혼합 성능이 우수하다. CSBR은 또한 상 사이의 열전달 효율이 높고, 유동층 반응기에서 용융된 플라스틱으로 인한 탈유동화를 방지할 수 있다. CSBR은 기포 유동층에 비해 낮은 층 분리 및 낮은 마모로 인해 PS, PE, PP 및 PET와 같은 중합체의 열분해에 성공적으로 적용되었다. CSBR 설계는 비교적 단순하며 폐기물을 분리하지 않아도 되기 때문에 폐플라스틱의 열분해에 적합하다.

CSBR은 유동화 없이 스파우트(spout)에서 입자가 순환 이동하도록 함으로써 초기의 덩어리 입자가 잘 분해되도록 한다. 그러나 이 반응기를 작동하는 동안 촉매 공급, 촉매 비말, 생성물(고체 및 액체) 수집과 같이 부가적인 다양한 기술적 문제가 발생한 것으로 나타났고, 많은 펌프를 사용해야 하는 설계로 운영비가 많이 드는 것으로 보고되었다.

8) 출처: Gebre S. H. et al., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, ChemistryOpen 10, pp. 1202-1226, 2021

6) 마이크로파 기술(Microwave-Assisted Technology)⁹⁾

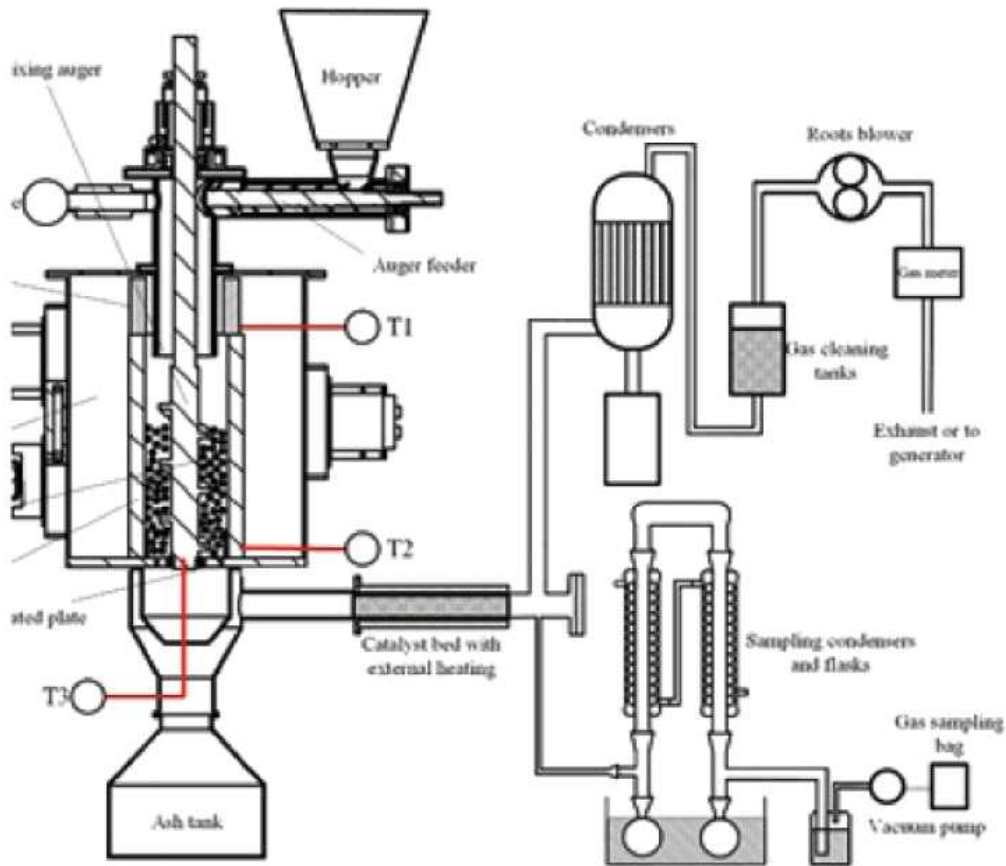
마이크로파 기술은 오일, 합성 가스 및 숯을 생산하는 열화학 공정에서 열분해를 통해 폐기물을 회수하는 새로운 기술 중 하나이다. 이 공정에서는 마이크로파 흡수성이 높은 미립자 탄소와 같은 물질이 폐기물과 혼합된다. 마이크로파 흡수제는 마이크로파 에너지를 흡수하여 전체적으로 열분해가 발생하도록 하는 데 필요한 온도에 도달하기 위한 적절한 열에너지를 생성한다. 마이크로파 가열은 균일하게 체적을 가열하기 때문에 기존 가열 방식에 대한 최상의 대안 중 하나이다.

마이크로파 가열방식은 기존의 열분해 방법에 비해 몇 가지 장점이 있다. 생산량 증가, 빠른 반응 속도, 큰 바이오매스 입자를 균일하고 빠르게 내부적으로 가열, 제품 선택폭의 확대, 신속한 시작 및 종료를 위한 즉각적인 반응, 높은 에너지 효율, 교반 불필요, 제어 용이성, 비용 효율성 등을 장점으로 볼 수 있다.

기존 방법과 달리 마이크로파 에너지는 전자기장과 분자 상호 작용을 통해 물질에 직접 전달된다. 따라서 주변 지역을 가열하는 데 시간을 소비하지 않는다. 마이크로파 가열의 이러한 장점에도 불구하고, 이 기술이 상업적 규모에서 광범위하게 활용되지 않는 이유는 처리되는 폐기물들의 유전 특성을 정량화할 수 있는 충분한 데이터가 없다는 것이다.

적용 사례를 보면, 전자 레인지와 결합한 장치는 흑연 및 금속 산화물을 포함하고 있는 마이크로파 흡수 물질 또는 수용체로 인해 1000 °C까지 온도를 올릴 수 있었다. 이를 통해 알루미늄과 혼합된 플라스틱으로부터 금속과 기름을 얻기 위한 열분해를 할 수 있었다. 마이크로파 유도 열분해를 이용하면 슬러지로부터 연료 생성물의 회수도 용이하다. 마이크로파 가열 효율은 재료의 유전 특성에 의해 크게 좌우된다. 예를 들어, 유전율이 낮은 플라스틱을 열분해 과정에서 마이크로파 흡수제인 탄소와 혼합하면 흡수되는 에너지가 향상되어 더 짧은 시간에 열로 변환될 수 있다.

9) 출처: Gebre S. H. et al., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, ChemistryOpen 10, pp. 1202-1226, 2021



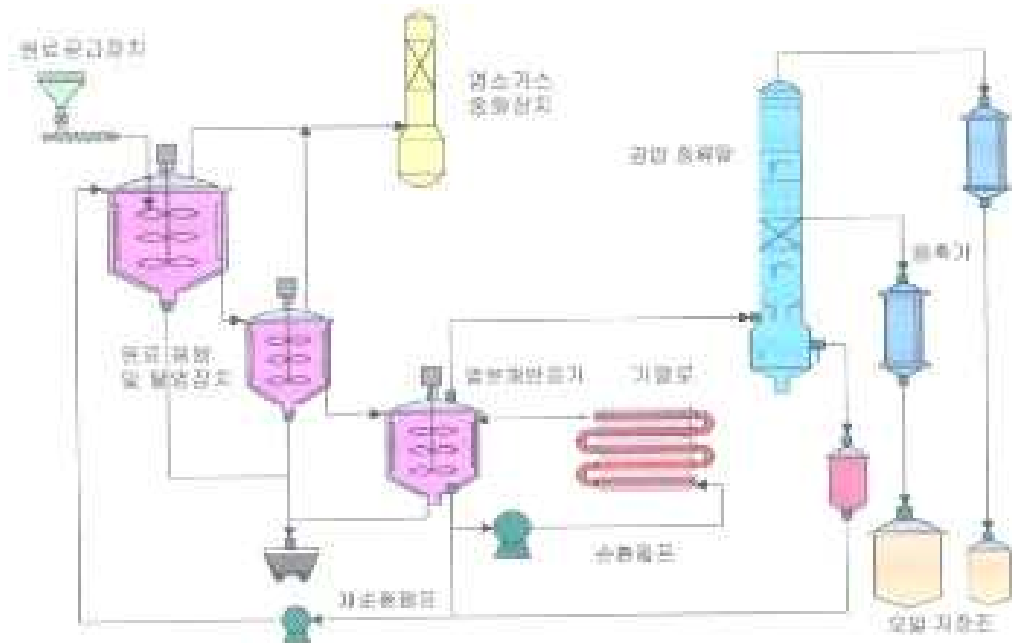
[그림 II-13] 마이크로파 열분해 반응기

[출처: Dai L. et al, Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review, Progress in Energy and Combustion Science 93, 2022]

7) 관형(Tubular)

관형 반응기는 열전달 효율이 높지만, 이물질이 섞인 폐플라스틱의 처리가 어렵다. 고온의 용융 폐플라스틱 이송과 관련된 부품의 상시 유지보수가 필요하지만, 코킹 현상이 발생하지 않는다. 또한 생성물의 품질이 양호하고, 처리량이 크므로 대규모 플랜트가 가능한 것으로 알려져 있다(김성수, 2009). [그림 II-14]에는 관형 반응기를 이용한 열분해 공정을 간단하게 나타내었다. 관형 반응기는

초기 투자비는 보통이나 운전비가 커질 수 있는 문제점이 있는 것으로 보고되고 있다(김성수, 2009).

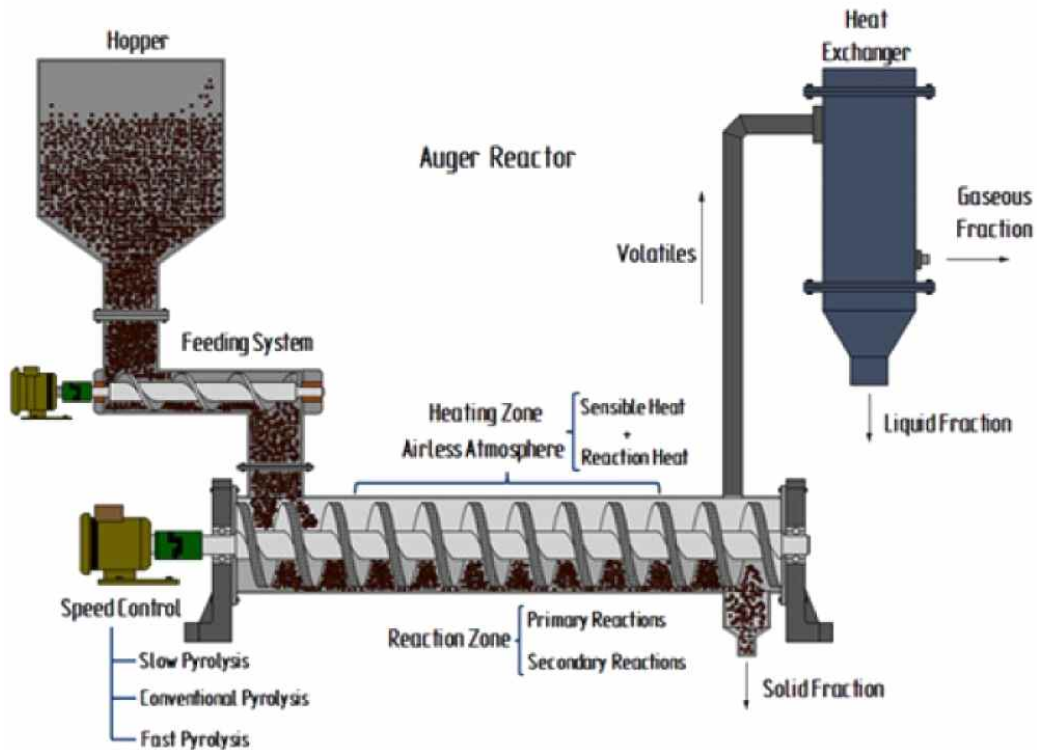


[그림 II-14] 관형 열분해 반응기

[출처: 김성수, 페플라스틱 열분해 기술개발 동향, 2009]

8) 스크류 이송형 반응기

스크류 이송형 반응기는 페플라스틱의 공급(feeding) 문제가 발생하지 않으며, 페플라스틱 체류시간의 조절이 용이하고, 운전 중 생성된 코크의 제거가 용이한 장점이 있다. 또한 열전달 효율이 높으며 반지름 방향의 온도분포가 균일하고, 생성물의 품질이 우수한 편이다. 단일 스크류 방식은 초기 투자비와 운전비용이 저렴하며 이중 스크류 방식은 초기 투자비가 높은 편으로 보고되고 있다(김성수, 2009).



[그림 II-15] 스크류 이송형 열분해 반응기

[출처: Dai L. et al, Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review, 2022]

9) 플라즈마 반응기(Plasma Reactors)¹⁰⁾

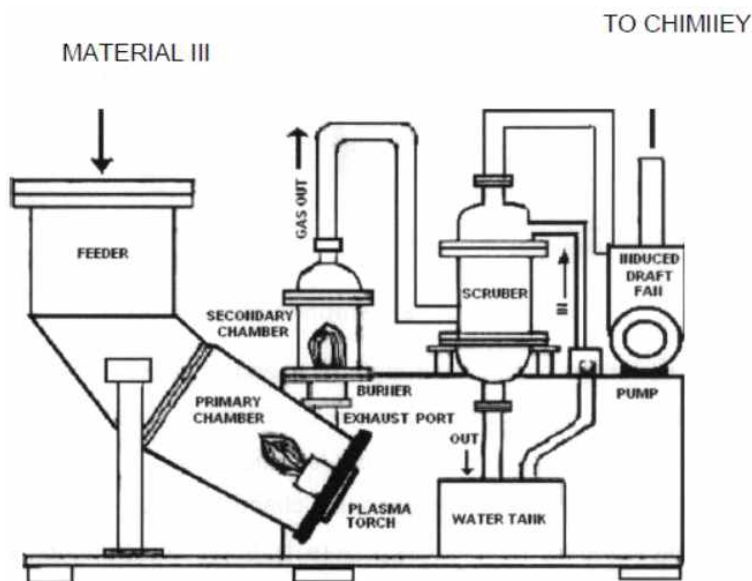
플라즈마 열분해 기술은 산소가 부족한 환경에서 유기 화합물을 가스와 고체 잔류물로 분해하는 기술이다. 플라즈마 열분해는 높은 비율의 전자, 이온 및 여기된 분자를 높은 비율로 활용한다.

1990년대 초, 플라즈마 열분해는 플라스틱과 의료 및 기타 유해 폐기물 등을 안전하게 처리할 수 있는 기술로 알려졌다. 이 기술에 사용된 플라즈마 토치의 강력하고 다양한 열 생성 기능을 통해 폴리머 폐기물, 도시의 고형 폐기물,

10) 출처: Central Pollution Control Board, Study on Plastic Waste Disposal through "Plasma Pyrolysis Technology", 2016.

의료 폐기물 및 유해 폐기물을 포함한 모든 유형의 폐기물을 안전하게 처리할 수 있다. 그리고 플라즈마 열분해 기술은 배출물에 포함된 다이옥신 및 푸란과 같은 독성 화합물의 양이 미국 EPA에서 규정한 기준 미만으로 생성되는 것으로 입증되었다. 미국에서는 플라즈마 열분해 기술이 비소각 공정으로 인정받고 있으며, 다음과 같은 장점이 있는 것으로 보고되었다.

- (1) 플라즈마 열분해 시스템은 재활용 불가 및 저등급 플라스틱 폐기물과 관련된 문제를 해결할 수 있다.
- (2) 산소 결핍 환경에서 극도로 높은 온도를 발생시켜 플라스틱 폐기물의 안전한 폐기에 유용하다.
- (3) 에너지 회수와 함께 플라스틱 폐기물 처리를 위한 플라즈마 열분해 장치는 고용량 시스템에서 경제적으로 실행 가능하다.



[그림 II-16] 플라즈마 열분해 장치

[출처: Central Pollution Control Board, Study on Plastic Waste Disposal through "Plasma Pyrolysis Technology", 2016]

10) 다단계형

다단 열분해 방식은 열전달과 코킹의 문제로 인한 보완된 열분해 방법이다. 1단에서 열분해 후 2단에서 고비점 오일 및 잔류물을 재 열분해하는 방법을 사용한다(강준구, 2022).

11) 열분해 반응기의 장단점 비교

〈표 II-9〉에는 앞에서 설명한 열분해 반응기의 종류별 장단점을 나타내었다. 〈표 II-10〉에는 신대현 등(2002)의 보고서에 제시된 반응기 종류별 반응 조건을 나타내었으나, 2022년 현재의 기술과는 차이가 있을 수 있다.

〈표 II-9〉 열분해 반응기 형식별 장·단점

구분	장점	단점
회분식 (Batch)	○ 열분해에 적합 ○ 제어하기 쉬운 작동 매개변수	○ 느린 공정 ○ 생산의 불연속성 ○ 배치당 높은 인건비 ○ 촉매와 플라스틱의 느린 혼합으로 인해 촉매 열분해에 적합하지 않음 ○ 대규모 생산에 어려움
반회분식 (Semi-batch)	○ 공급원료 추가의 유연성 ○ 열분해에 적합 ○ 제어하기 쉬운 작동 매개변수	○ 배치당 인건비 ○ 촉매와 플라스틱의 느린 혼합으로 인해 촉매 열분해에 적합하지 않음 ○ 소규모 생산에 더 적합
고정층 (Fixed bed)	○ 간단하고 신뢰성 있음 ○ 크기가 비교적 균일하고 미분 함량이 낮은 연료에 대해 입증됨 ○ 가스 냉각 및 세척 시스템 포함	○ 불규칙한 크기와 모양의 입자를 가진 공급 원료에는 적합하지 않음 ○ 사용가능한 촉매 표면적이 제한적임 ○ 낮은 가열 속도 ○ 시료 내부의 온도가 균일하지

구분	장점	단점
		○ 많아 공급원료가 다른 온도에서 분해됨
유동층 (Fluidized bed)	○ 촉매와 유체와 잘 혼합되고, 균일한 온도분포 형성 ○ 유연하고, 공급원료를 자주 배출할 수 있음 ○ 대규모 공정에 적합 ○ 촉매 재생에 적합 ○ 균일한 제품 품질을 형성 ○ 가열성 탁월	○ 높은 운영 비용 ○ 베드에서 숯을 분리하기 어려움 ○ 작은 공급원료만 사용됨 ○ 장치내구성, 가동안정성, 오일 수율 불량
로타리 킬른 (rotary kiln)	○ 폐플라스틱을 잘 혼합 가능 ○ 이종 재료 또는 공급원료 사용가능 ○ 간단한 유지보수 ○ 초기투자비 저렴	○ 느린 공정 ○ 상당한 양의 숯 형성 ○ 낮은 가열 속도 ○ 대용량 불가능
교반형 탱크 (Stirred tank)	○ 온도 제어 용이 ○ 작동 및 구성 용이 ○ 용융물에 열전달 좋음 ○ 균일한 열 분포 ○ 공정이 단순함	○ 빈번한 유지 보수 필요 ○ 부피당 낮은 전환율 ○ 교반성 나쁨 ○ 벽면 코크스 발생 ○ 가열성 나쁨 ○ 대용량 불가능
원추형 분출 층 (CSBR)	○ 혼합성이 좋아 큰 입자 및 입자 밀도 차이가 있는 혼합물 처리 가능 ○ 상(phase) 사이의 열전달 좋음 ○ 가장 단순한 CSBR 설계로도 모든 종류의 플라스틱을 분리하지 않고 열분해 가능 ○ 유동화를 피함	○ 촉매 공급, 연행(entrainment) 및 제품 수집이 어려움 ○ 많은 펌프가 필요한 복잡한 설계로 인해 높은 운영 비용
관형 (Tubular)	○ 고정 벽이 있는 다양한 튜브로 구성 ○ 외부에서 가열(가열성 양호) ○ 간단하고 안전함 ○ 코크스와 가스를 연속적으로 얻을 수 있음(코크 문제 방지)	○ 고형 폐기물의 광범위한 전처리 필요 ○ 공급원료가 통과하기에 작은 통로 ○ 공급 원료에 존재하는 모래 및 기타 고체 오염 물질의 존재로 인한 반응기 침식 ○ 열전달 계수가 잘 정의되지 않음

구분	장점	단점
	○ 열 및 촉매 열분해 공정 모두에 사용하기 적합 ○ 낮은 인건비, 짧은 처리 시간, 안정적인 운영 ○ 반응효율 양호 ○ 유지보수 용이 ○ 제품 균일 및 양호 ○ PVC 처리 가능 ○ 대규모 플랜트 가능	○ 정교한 제어 시스템 필요
다단계형 (Multi-step)	○ 두 개 이상의 단계를 결합 ○ 단계마다 다른 조건들로 제어할 수 있어 독립적인 열분해를 실행 가능 ○ 생성된 HCl 가스는 다양한 단계에서 제품에서 분리할 수 있음 ○ 짧은 체류 시간	-
플라즈마 (Plasma)	○ 폐기물을 합성가스로 전환 ○ 우수한 열전달 ○ 제어된 공정온도, 높은 공정 속도 ○ 생성된 합성가스는 최적의 조성을 가지고 있음 ○ 생산된 제품은 인간의 건강과 환경에 무해	○ 높은 에너지 요구(1000 °C의 온도 필요) ○ 작은 반응 부피 ○ 유해폐기물에만 적용 ○ 경제적으로 도시 고형 폐기물에 적합하지 않음
마이크로파 (Microwave)	○ 균일한 체적 가열 ○ 빠른 반응, 비용 효율적 ○ 우수한 제품 생산 ○ 혼합 플라스틱 열분해 가능 ○ 고품질 연료 제품 생성 가능	○ 폐기물 흐름의 유전 특성을 정량화할 수 있는 충분한 데이터 부재 ○ 높은 가열 속도를 얻으려면 미세한 공급원료 입자 필요 ○ 2차 분해가 감소됨 ○ 고형 증기는 반응기에서 신속하게 제거해야 함

[출처: Gebre 등(2021, Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics)와 김성수(2009, 폐플라스틱 열분해 기술개발 동향)의 자료를 재정리함]

〈표 II-10〉 열분해 반응기 종류별 특성 비교

반응기 형태		Kiln형	교반형(CSTR)	관형(PFR)	유동상(FBR)
반응 조건	온도(℃)	500 ~ 800	400 ~ 450	400 ~ 450	700 ~ 900
	체류시간	2 ~ 4 hr	2 hr	2 ~ 3 hr	10 min
수율 (%)	액체	70~80	80	80	30 ~ 40
	기체	20~30	15	15	50 ~ 60
	고체	1~3	5	5	5

[출처: 신대현 등(2002)의 “폐플라스틱의 화학적 재활용과 열분해 기술”에서 재인용]

6. 폐플라스틱 열분해 유화 업체 현황

1) 국내

한국순환자원유통지원센터에 등록된 사업장과 여러 참고문헌, 사고사례, 언론자료 등을 통해 확인한 국내 폐플라스틱 열분해 사업장은 <표 II-11>과 같다. 국내에서 26개 사업장에서 열분해 설비를 운영하고 있거나 운영을 계획하고 있는 것으로 확인되었고, 사업장 근로자수 규모는 대부분 20인 미만으로 영세한 수준인 것으로 나타났다(2021년말 기준). <표 II-11>의 26개 사업장 중 2022년 6월말 기준으로 한국순환자원유통지원센터에 등록된 폐플라스틱 열분해 사업장은 2개의 탈퇴사를 포함하여 총 17개사인 것으로 확인되었다. 이중 4개 사업장이 2021년, 1개 사업장이 2022년에 신규로 등록된 사업장이었고, 2021년말 기준으로 열분해유 생산 실적이 있는 사업장은 12개소였다(조지혜 등, 2022).

폐플라스틱을 열분해 설비를 실제로 운영하는 있는 대부분의 사업장에서 회분식 반응기를 사용하고 있는 것으로 나타났고, 일부 사업장에서 연속식 설비를 사용거나 개발 중인 것으로 나타났다. 회분식 반응기 중에서는 로터리 킬른 방식이 가장 많이 사용되고 있는 것으로 파악되었다. 사업장을 표준업종별로 살펴보면 폐기물처리업, 제조업, 재생업, 원유정체처리업, 도매업 등 다양한 업종으로 등록되어 있었다.

현재 정부정책이 폐플라스틱 열분해 사업을 확대하는 방향으로 진행되고 있기 때문에 앞으로 신규 사업장수는 더 증가할 것으로 예상된다. 신규 사업장은 설비 운영 경험 및 지식이 부족하기 때문에 사고에 노출되기 쉽다. 따라서 이들 사업장의 안전을 확보하기 위한 정책 및 기술적 지원이 필요할 것으로 판단된다.

〈표 II-11〉 국내 페플라스틱 열분해 관련 사업장 현황¹¹⁾

연번	사업장 기본 정보			공정 관련 정보		
	사업장명 (산재성립연월 ¹²⁾)	근로자수 ¹²⁾ (‘21년 기준)	표준산업분류 ¹²⁾	처리규모 (톤/년)	방식	반응기형식
1	(주)OOOO (2019.08)	5인 미만	[20499]그 외 기타 분류 안된 화학제품 제조업	4,200	회분식	로터리 킬른
2	(주)OOOO (2013.10)	10인 미만	[19221]윤활유 및 그 리스 제조업	3,000	회분식	로터리 킬른
3	(주)OOOO (2016.09)	10인 미만	[19229]기타 석유 정 제물 재처리업	8,400	회분식	로터리 킬른
4	OOOO(주) (2014.11)	5인 미만	[22229]기타 건축용 플라스틱 조립제품 제 조업	9,900	회분식	로터리 킬른
5	OOOO (2006.03)	20인 미만	[38230]건설 폐기물 처리업	6,000	회분식	로터리 킬른
6	OOOO(주) (2014.12)	5인 미만	[19221]윤활유 및 그 리스 제조업	4,500	회분식	로터리 킬른
7	(주)OOOO (2015.04)	5인 미만	[19210]원유 정제처리 업	2,250	회분식	로터리 킬른
8	(주)OOOO (2018.02)	5인 미만	[29150]산업용 오븐, 노 및 노용 버너 제조 업	2,400	회분식	로터리 킬른
9	OOOO(주) (2019.04)	10인 미만	[20203]혼성 및 재생 플라스틱 소재 물질 제 조업	12,000	회분식	로터리 킬른
10	OOOO(주) (2019.04)	5인 미만	[38210]자정 외 폐기 물 처리업	9,000	회분식	로터리 킬른
11	(주)OOOO (2015.06)	10인 미만	[19210]원유 정제처리 업	5,760	연속식	-
12	(주)OOOO	5인 미만	[22299]그 외 기타 플	6,000	회분식	로터리 킬른

11) 출처: 다음 보고서 및 자료의 내용을 재정리함

- 1) 노남선 등, 페플라스틱의 열화학적 재활용 분야에 대한 국내 동향, 2021.
- 2) 중소기업청, 폐기물 에너지산업 로드맵 2013.
- 3) 산업교육연구소, 페플라스틱 화학적 재활용 트렌드 및 R&D 사례와 상용화 세미나 발표자료, 2022.4.28.
- 4) 조지혜 등, 페플라스틱 열분해 추진여건 및 정책과제, 한국환경연구원. 2022.
(한국순환자원유통지원센터 작성 자료 포함)
- 5) 안전보건공단 재해조사의견서

연번	사업장 기본 정보			공정 관련 정보		
	사업장명 (산재성립연월 ¹²⁾)	근로자수 ¹²⁾ (‘21년 기준)	표준산업분류 ¹²⁾	처리규모 (톤/년)	방식	반응기형식
	(2020.07)		라스틱 제품 제조업			
13	OOOO (2010.03)	20인 이상	[29199]그 외 기타 일반 목적용 기계 제조업	10톤/일	회분식	로터리 킬른
14	(주)OOOO (2020.05)	5인 미만	[19229]기타 석유 정제물 재처리업	3,000	회분식	로터리 킬른
15	OOOO (2017.05)	10인 미만	[70129]기타 공학 연구개발업	6톤/일	회분식	마이크로파
16	OOOO (2015.04)	10인 미만	[46539]기타 산업용 기계 및 장비 도매업	3.5톤/회	회분식	고정식
17	(주)OOOO (2016.09)	10인 미만	수동식 식품 가공기 및 금속 주방용기 제조업	1~50톤/일	회분식	고정식
18	(주)OOOO (2018.02)	20인 미만	[24219]기타 비철금속 제련, 정련 및 합금 제조업	5톤/일	회분식	로터리 킬른
19	OOOO(주) (2019.11)	5인 미만	[22299] 그 외 기타 플라스틱 제품 제조업	14,400	회분식	로터리 킬른
20	(주)OOOO (2020.04)	5인 미만	[22299] 그 외 기타 플라스틱 제품 제조업	3,000	회분식	로터리 킬른
21	(주)OOOO (2020.07)	5인 미만	[29176] 증류기, 열교환기 및 가스발생기 제조업	-	연속식	-
22	(주)OOOO (2015.06)	5인 미만	[38322]비금속류 원료 재생업	(검토중)	회분식	확인불가
23	(주)OOOO (-)	-	확인불가	100톤/일	연속식	-
24	(유)OOOO (-)	-	확인불가	-	-	-
25	(주)OOOO (2001.10)	20인 이상	[38120]자정 수집, 운반업 폐기물	-	-	-
26	(주)OOOO (1993.09)	20인 이상	[38210]자정 외 폐기물 처리업	-	-	-

12) 안전보건공단 사업장 정보에서 검색한 결과임

2) 국외

폐플라스틱을 열분해 처리하는 외국의 주요 업체는 <표 II-12>과 같다. 외국의 대규모 화학회사에서 폐플라스틱 열분해에 많은 투자를 하고 있는 것으로 나타났고, BP(영국), BASF(독일), Neste(핀란드), Monroe Energy(미국) 등 글로벌 기업들이 탄소제로 및 RE100¹³⁾ 대응을 위해 폐플라스틱 열분해 사업을 시행 중이거나 계획이 있는 것으로 파악되었다.

<표 II-13>에는 인터넷 검색을 통해 확인한 폐플라스틱 열분해설비 제조업체 명단을 나타내었다. 인터넷에서는 중국에 있는 제조업체가 가장 많이 검색되었으며, 다음으로 인도에 있는 업체가 많은 것으로 나타났다. 중국과 인도업체는 대부분 로터리 킬른식의 열분해 설비를 제작하고 있는 것으로 확인되었고, 국내 일부 업체가 중국에서 제작한 열분해 설비를 수입하여 설치한 것으로 확인되었다.

13) RE100은 재생에너지 전기(Renewable Electricity) 100%의 약자로 기업 활동에 필요한 전력의 100%를 태양광과 풍력 등 재생에너지를 이용해 생산된 전기로 사용하겠다는 자발적인 글로벌 캠페인임

〈표 II-12〉 외국의 주요 폐플라스틱 열분해 업체

연번	국가	회사명 (제작사)	공정 및 주요 사항	처리 규모
1	독일	BASF (BASF AG)	관형, 열분해유→납사→에틸렌/플로 필렌→PE/PP 실증운전: 1994-1996	15,000~20,000톤/년
2	독일	Hamburg-ABB (Hamburg 대학, ABB)	유동층 실증운전: 1986-1989	15,000톤/년
3	미국	Shell	열분해유→납사→에틸렌/플로 필렌→PE/PP	100만톤/년
4	핀란드	Neste	검증용 플랜트 건설 중	7,000톤/년
5	네덜란드	SABIC	열분해 유화 플랜트 건설중 (2021년 생산 시작) 열분해유→납사→에틸렌/플로 필렌→PE/PP	20,000톤/년
6	일본	Nigata시 유화센터 (千代田化工)	무촉매 CSTR 199년 5월부터 상업운전 개시 PVC 함유 혼합폐플라스틱 처리 전처리 공정과 촉매 미사용	6,000톤/년
7	일본	Sapporo Plastic Recycling(주) (주)도시바	무촉매 회분식 킬른형 2000년 4월부터 가동 개시 PVC 함유 혼합폐플라스틱 처리 전처리 공정에서 Pellet 생산	12,000톤/년
8	일본	道央油化센터 (주)구보다	관형+고정층 촉매분해 2000년 4월부터 가동 개시 PVC 함유 혼합폐플라스틱 처리 전처리 공정에서 Pellet 생산 ZSM-5 촉매 사용	6,000톤/년
9	일본	Fuji Recycle (Fuji Recycle Mobile Oil)	관형+고정층 촉매분해	5,000톤/년

- [출처: 1) 강준구, 폐기물로부터 회수된 열분해 액(기)체 연료/원료에 대한 정책 및 기술 현황, 2022.
 2) 김성수, 폐플라스틱 열분해 기술개발 동향, 2009.
 3) 신대현, 폐기물 에너지화 기술-열분해 기술, 2002.
 4) 신대현 등, 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 실용화 기술 개발, 2008.
 5) 신대현 등, 폐합성수지류의 열분해 유화 기술 동향, 2010.
 6) 橋秀昭,, 화학적 재활용의 동향과 장래 전망-폐플라스틱의 유화기술을 중심으로 2003.
 7) 社團法人プラスチック處理新瀉促進協會, 2000: プラスチック油化センターの現況.]

〈표 II-13〉 외국의 폐플라스틱 열분해 설비 제조업체

연번	국가	회사명 (제작사)	반응기 형식	대상 물질
1	중국	Bango	로터리 킬른	페타이어, 폐플라시틱
2	중국	BESTON (BESTON(HENAN) MACHINERY CO., LTD)	로터리 킬른	폐플라스틱, 타이어, 고무, 오일슬러지
3	중국	Henan Doing	로터리 킬른	폐플라스틱, 타이어
4	중국	Henan Realtop Machinery Co., Ltd.	로터리 킬른	폐플라스틱, 타이어
5	중국	HUAYIN GROUP	로터리 킬른	폐플라스틱
6	중국	Hunan Benji Environment Energy Technology Co. Ltd	로터리 킬른	폐플라스틱, 타이어
7	중국	MINGJIE	로터리 킬른	폐플라스틱, 타이어
8	인도	APChemi	로터리 킬른	폐플라스틱
9	인도	Divya International	로터리 킬른	타이어
10	인도	GOENVI	로터리 킬른	폐플라스틱
11	인도	Trimurti Production	로터리 킬른	폐플라스틱
12	대만	RESEM (Ruixin Environmental Specialty Equipment Manufacturing Co., Ltd)	로터리 킬른	폐플라스틱, 타이어
13	미국	IPEC(International Power Ecology Company)	로터리 킬른	폐플라스틱
14	덴마크	MAKeen Energy	-	플라스틱
15	캐나다	KleanIndustries	-	폐플라스틱

7. 폐플라스틱 열분해 공정 및 시설 관련 법규 현황

1) 폐기물관리법

(1) 열분해유

폐플라스틱 열분해유는 폐기물관리법에 따라 <표 II-14>와 같이 인화점이 섭씨 30도 이상이 되어야 시중에 유통할 수 있다. 이러한 규정은 열분해유의 유통 및 취급과정에서 안전을 확보하기 위한 조치의 하나로 판단된다. 환경부에서 폐기물관리법 시행규칙 개정안을 준비하고 있기 때문에 이 사항은 변동될 수도 있지만, 현재 기준에 따라 열분해유의 인화점을 섭씨 30도 이상으로 조정하기 위해서는 폐플라스틱 열분해가스를 응축한 이후에 증류 등의 별도 공정이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 열분해 설비 및 공정

환경부에서는 2022년 3월 4일 열분해를 통한 폐합성수지 재활용 기반을 마련하기 위해 폐기물관리법 시행규칙 개정안을 발표하였다. 이를 통해 폐기물관리법에 따라 열분해설비를 법적으로 관리하기 위한 근거가 마련될 것으로 판단된다. 그러나 아직 시행 시기는 명확하게 제시되지 않았다.

개정 예정인 폐기물관리법 시행규칙이 시행되면, 폐플라스틱 열분해 설비를 설치하고자 하는 자는 폐기물관리법 제29조(폐기물처리시설의 설치)에 따라 환경부령으로 정하는 기준에 맞게 설치하여야 한다. 그리고 열분해설비를 설치한 자는 <표 II-15>와 같이 폐기물관리법 제30조(폐기물처리시설의 검사)에 따라 폐기물처리시설 검사기관으로부터 설치 완료 후 검사와 정기검사를 받아야 한다.

〈표 II-14〉 폐기물관리법의 폐플라스틱 열분해유 인화점 관련 규정

[폐기물관리법]	
제13조의2(폐기물의 재활용 원칙 및 준수사항)	
① 누구든지 다음 각 호를 위반하지 아니하는 경우에는 폐기물을 재활용할 수 있다. ② 제1항에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 폐기물은 재활용을 금지하거나 제한한다. ③ 제1항 및 제2항 각 호의 원칙을 지키기 위하여 필요한 오염 예방 및 저감방법의 종류와 정도, 폐기물의 취급 기준과 방법 등의 준수사항은 환경부령 으로 정한다.	
[폐기물관리법 시행규칙]	
제14조의3(폐기물의 재활용 기준 및 준수사항 등)	
⑤ 법 제13조의2제3항에 따른 폐기물을 재활용하는 자의 준수사항은 별표 5의4 와 같다.	
[별표5의3] 폐기물의 재활용 기준(제14조의3 제1항 관련)	
2. 유형별 재활용의 세부기준	
마. 에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형	
2) R-9 유형의 재활용 기준	
가) R-9-2 유형의 재활용 기준	
(2) 폐유나 폐식용유를 이용하여 정제연료유를 재활용하는 경우에는 다음의 기준에 따라 제조되어야 한다.	
(가) 재활용한 정제연료유는 폐기물에 관한 공정시험기준, 한국산업표준에 따른 시험 방법 또는 대기오염물질에 관한 공정시험기준에 따른 시험결과가 다음의 기준에 적합하여야 한다.	
⑨ 인화점: 섭씨 40도 이상(열분해방법으로 재활용하는 경우에는 섭씨 30도 이상)	

〈표 II-15〉 폐기물관리법 개정(안)에 따라 시행 예정인 열분해설비 검사 종류

폐기물관리법 관련 조항	대상자	검사 종류
제30조 (폐기물처리시설의 검사)	폐기물처리시설의 설치를 마친 자 (변경승인을 받거나 변경신고를 한 경우 포함)	설치검사
	폐기물처리시설을 설치·운영하는 자	정기검사

환경부에서 공고(제2022-112호)한 폐기물관리법 시행규칙의 일부개정령(안)에 따라 신설되는 열분해설비의 설치기준(별표 9 제3호 다목 4)) 및 검사기준

(별표 10 제7호)은 각각 <표 II-16> 및 <표 II-17>과 같다. 개정(안)에 따라 폐기물관리법 시행규칙이 개정되면 폐기물처리시설의 검사 관련 규정인 폐기물처리시설의 세부검사방법에 관한 규정(환경부고시)과 폐기물처리시설의 검사수수료(환경부고시)도 같이 개정될 필요가 있다.

참고로, 일본의 폐기물관리법에서 폐플라스틱의 열분해 설비 관련 기준은 57쪽의 내용과 같다.

<표 II-16> 폐기물관리법 시행규칙 별표9(개정안) (폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치기준) 제3호 다목 4))

4) 열분해시설의 설치 기준

- 가) 열분해시설은 폐기물투입장치·열분해실·응축설비·비응축성 열분해가스 연소실(이하 “연소실”이라 한다) 또는 배기가스 처리설비·유류저장설비 및 열회수장치가 설치되어야 한다.
- 나) 연소실·열분해실의 예열 및 온도를 조절할 수 있도록 버너 등 충분한 용량의 연소장치를 설치해야 한다.
- 다) 굴뚝을 설치하는 경우에는 통풍력과 배기가스의 대기확산을 고려한 높이와 구조를 가져야 한다.
- 라) 폭발사고와 화재 등에 대비한 안전한 구조여야 하며, 소화기 등 필요한 장비를 갖춰야 한다.
- 마) 연소실·열분해실에는 시설 내의 압력변화를 감지할 수 있는 압력 측정계를 설치해야 한다.
- 바) 연소실·열분해실의 최종 출구에는 출구온도 측정공을 설치하고, 각 시설의 출구온도 변화를 연속적으로 기록할 수 있는 자동온도기록계를 붙여야 한다.
- 사) 열분해시설은 열분해실 내부로의 외부 공기유입을 차단하고 반응온도 및 압력(가압 또는 감압을 실시하는 경우에 한정한다)을 적정하게 유지할 수 있는 설비여야 한다.
- 아) 폐기물 투입구 및 청소구는 고온에 견딜 수 있는 재질로 만들어야 하며, 외부공기가 흘러 들어오거나 열분해가스가 새어 나가는 것을 방지할 수 있는 구조여야 하고, 고형잔재물의 제거 시 재의 흠날림을 방지할 수 있는 구조여야 한다.
- 자) 회수된 열분해유류의 중량은 초기 투입 폐기물 중량의 50퍼센트 이상이 될 수 있어야 한다(가스화시설에는 적용하지 않는다).
- 차) 시설규모, 처분대상 폐기물의 종류, 열분해방식, 설계·시공자명 및 연락처 등 필요한 사항을 지워지지 않고 파손되지 않는 방법으로 표시한 표지를 붙여야 한다.

〈표 II-17〉 폐기물관리법 시행규칙 별표10 (폐기물 처분시설 또는 재활용시설의
검사기준) 제7호

7. 열분해시설의 검사기준

구분	검사항목
설치검사	○ 열분해(가스화를 포함한다. 이하 같다)능력의 적절성 및 적절열분해상태 유지 여부 ○ 열분해유 회수량 적절 여부 ○ 굴뚝의 통풍력 및 구조의 적절성 ○ 폭발사고와 화재 등에 대비한 구조인지 여부 ○ 압력측정계 설치 여부 및 작동상태 ○ 출구온도 측정공, 온도지시계, 온도기록계 설치 여부 및 작동상태 ○ 배출가스의 연속측정·기록장치 작동상태 ○ 폐기물의 투입구 및 청소구의 내열성, 구조 및 공기유입·유출 여부 ○ 고형잔재물의 흘날림 방지조치 여부 ○ 표지판 부착 여부 및 기재사항
정기검사	○ 적절 열분해상태 유지 여부 ○ 소방장비 설치 및 관리실태 ○ 배기가스온도 적절 여부 ○ 열분해유 회수량 ○ 설치검사 당시와 같은 설비·구조를 유지하고 있는지 여부

[참고] 일본의 폐기물관리법 시행 규칙 제1조의 7의 2,

H17.1.12 환경성 고시 제1호(열분해시설의 구조, 열분해 방법)

1. 열분해시설의 구조**(탄화수소유 또는 탄화물을 생성하는 경우)**

- (1) 열분해실 내로의 공기의 유입을 방지함으로써, 열분해실 내의 폐기물을 연소시키지 않는 구조일 것.
- (2) 폐기물의 열분해를 실시하는데 필요한 온도 및 압력을 적정하게 유지할 수 있을 것.
- (3) 열분해실 내의 온도 및 압력을 정기적으로 측정할 수 있는 구조일 것.
- (4) 처리에 수반하여 발생한 잔류물(탄화물을 포함한다)을 배출하는 경우에는 잔류물이 발화하지 않도록 배출된 잔류물을 즉시 냉각할 수 있을 것.
- (5) 처리에 수반하여 발생한 가스 중 탄화수소유로서 회수되지 않는 가스를 적정하게 처리(일정의 조건을 만족하지 않는 연소는 제외한다)할 수 있을 것.

(탄화수소유 또는 탄화물을 생성하는 이외의 경우)

- (6) 폐기물의 열분해에 필요한 온도를 적정하게 유지할 수 있을 것. 그 외의 생활환경 보전 상의 지장이 발생하지 않도록 필요한 조치가 강구되고 있을 것.

2 열분해 방법**(탄화수소유 또는 탄화물을 생성하는 경우)**

- (1) 배출구 이외로부터 처리에 수반하여 발생한 가스가 배출되지 않도록 열분해를 실시하는 것.
- (2) 배출구로부터 처리에 수반하여 생긴 잔류물이 비산되지 않도록 열분해를 실시하는 것.
- (3) 탄화수소유로서 회수되지 않는 가스를 연소시키는 경우(일정한 조건을 만족하는 연소를 실시하는 경우에 한한다)는 배출구로부터 화염 또는 일본 공업 규격 D8004에 정하는 오염도가 25%를 초과하는 흑연이 배출되지 않는다 하는 것.
- (4) 처리에 수반하여 생긴 가스를 생활환경의 보전 상 지장이 생기지 않도록 처리한 후 배출하는 것.

(탄화수소유 또는 탄화물을 생성하는 이외의 경우)

- (5) 배출구 이외로부터 처리에 수반하여 발생한 가스가 배출되지 않도록 열분해를 실시하는 것.
- (6) 배출구로부터 처리에 수반하여 생긴 잔류물이 비산되지 않도록 열분해를 실시하는 것.

3 가스를 연소시키는 경우의 일정한 조건**(재생 이용을 목적으로 한 탄화수소유를 생성하는 경우)**

처리된 폐기물의 중량, 생성된 탄화수소유의 중량, 처리에 따른 잔사의 중량을 정기적으로 측정하고, 통상의 조업 상태에서 생성되는 탄화수소유의 중량이 처리한 폐기물의 중량에 대하여 40% 이상이고, 또한 처리에 수반하여 발생한 가스 중 탄화수소유로서 회수되지 않는 가스의 중량이 처리한 폐기물의 중량에 대하여 25% 이하인 경우

2) 산업안전보건법

(1) 열분해유

산업안전보건법 제110조(물질안전보건자료의 작성 및 제출)에 따라 화학물질 또는 이를 포함한 혼합물로서 산안법 제104조에 따른 분류기준에 해당하는 물질(대통령령으로 정하는 것은 제외한다)을 제조하거나 수입하려는 자는 물질안전보건자료를 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 작성하여 고용노동부장관에게 제출하여야 한다<표 II-18>. 그리고 제110조의 하위규정으로 산업안전보건법 시행령 제86조(물질안전보건자료의 작성·제출 제외 대상 화학물질 등) 제14호에 폐기물관리법 제2조 제1호에 따른 폐기물을 물질안전보건작성 대상에서 제외하고 있다. 그러나 열분해유는 폐기물관리법 제2조제1호에서 정의하는 “폐기물”에 해당되는 것으로 보기 어렵기 때문에 물질안전보건자료 작성 대상에 포함될 것으로 판단된다. 폐기물관리법 제2조 제1호에 따른 “폐기물”이란 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리 및 동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질을 말한다.

또한 산업안전보건법 제114조(물질안전보건자료의 게시 및 교육)에 따라 폐플라스틱 열분해 사업장에서는 물질안전보건자료 작성 대상물질을 취급하는 작업장 내에 이를 취급하는 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 물질안전보건자료를 게시하거나 갖추어 두고, 근로자에게 교육할 필요가 있을 것으로 판단된다.

〈표 II-18〉 산업안전보건법의 폐플라스틱 열분해유 관련 규정

[산업안전보건법]

제104조(유해인자의 분류기준) 고용노동부장관은 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 근로자에게 건강장해를 일으키는 화학물질 및 물리적 인자 등(이하 “유해인자”라 한다)의 유해성·위험성 분류기준을 마련하여야 한다.

[산업안전보건법 시행규칙]

제141조(유해인자의 분류기준) 법 제104조에 따른 근로자에게 건강장해를 일으키는 화학물질 및 물리적 인자 등(이하 “유해인자”라 한다)의 유해성·위험성 분류기준은 별표 18과 같다.

[별표 18]유해인자의 유해성·위험성 분류기준**1. 화학물질의 분류기준****가. 물리적 위험성 분류기준**

- 2) 인화성 가스: 20℃, 표준압력(101.3kPa)에서 공기와 혼합하여 인화되는 범위에 있는 가스와 54℃ 이하 공기 중에서 자연발화하는 가스를 말한다.(혼합물을 포함한다)
- 3) 인화성 액체: 표준압력(101.3kPa)에서 인화점이 93℃ 이하인 액체
- 4) 인화성 고체: 쉽게 연소되거나 마찰에 의하여 화재를 일으키거나 촉진할 수 있는 물질

제110조(물질안전보건자료의 작성 및 제출)

- ① 화학물질 또는 이를 포함한 혼합물로서 제104조에 따른 분류기준에 해당하는 것(대통령령으로 정하는 것은 제외한다. 이하 "물질안전보건자료대상물질"이라 한다)을 제조하거나 수입하려는 자는 다음 각 호의 사항을 적은 자료(이하 "물질안전보건자료"라 한다)를 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 작성하여 고용노동부장관에게 제출하여야 한다. 이 경우 고용노동부장관은 고용노동부령으로 물질안전보건자료의 기재 사항이나 작성 방법을 정할 때 「화학물질관리법」 및 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」과 관련된 사항에 대해서는 환경부장관과 협의하여야 한다.
 1. 제품명
 2. 물질안전보건자료대상물질을 구성하는 화학물질 중 제104조에 따른 분류기준에 해당하는 화학물질의 명칭 및 함유량
 3. 안전 및 보건상의 취급 주의 사항
 4. 건강 및 환경에 대한 유해성, 물리적 위험성
 5. 물리·화학적 특성 등 고용노동부령으로정하는 사항
- ② 물질안전보건자료대상물질을 제조하거나 수입하려는 자는 물질안전보건자료대상물질을 구성하는 화학물질 중 제104조에 따른 분류기준에 해당하지 아니하는 화학물질의 명칭 및 함유량을 고용노동부장관에게 별도로 제출하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우는 그러하지 아니하다.
 1. 제1항에 따라 제출된 물질안전보건자료에 이 항 각 호 외의 부분 본문에 따른 화학물질의 명칭 및 함유량이 전부 포함된 경우
 2. 물질안전보건자료대상물질을 수입하려는 자가 물질안전보건자료대상물질을 국외에서 제조하여 우리나라로 수출하려는 자(이하 "국외제조자"라 한다)로부터 물질안전보건자료에 적힌 화학물질 외에는 제104조에 따른 분류기준에 해당하는 화학물질이 없음을 확인하는 내용의 서류를 받아 제출한 경우
- ③ 물질안전보건자료대상물질을 제조하거나 수입한 자는 제1항 각 호에 따른 사항 중 고용노동부령으로 정하는 사항이 변경된 경우 그 변경 사항을 반영한 물질안전보건자료를 고용노동부장관에게 제출하여야 한다.

제111조(물질안전보건자료의 제공)

- ① 물질안전보건자료대상물질을 양도하거나 제공하는 자는 이를 양도받거나 제공받는 자에게 물질안전보건자료를 제공하여야 한다.
- ② 물질안전보건자료대상물질을 제조하거나 수입한 자는 이를 양도받거나 제공받은 자에게 제110조제3항에 따라 변경된 물질안전보건자료를 제공하여야 한다.
- ③ 물질안전보건자료대상물질을 양도하거나 제공한 자(물질안전보건자료대상물질을 제조하거나 수입한 자는 제외한다)는 제110조제3항에 따른 물질안전보건자료를 제공받은 경우 이를 물질안전보건자료대상 물질을 양도받거나 제공받은 자에게 제공하여야 한다.
- ④ 제1항부터 제3항까지의 규정에 따른 물질안전보건자료 또는 변경된 물질안전보건자료의 제공방법 및 내용, 그 밖에 필요한 사항은 고용노동부령으로 정한다.

제114조(물질안전보건자료의 게시 및 교육)

- ① 물질안전보건자료대상물질을 취급하려는 사업주는 제110조제1항 또는 제3항에 따라 작성하였거나 제111조제1항부터 제3항까지의 규정에 따라 제공받은 물질안전보건자료를 고용노동부령으로 정하는 방법에 따라 물질안전보건자료대상물질을 취급하는 작업장 내에 이를 취급하는 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시하거나 갖추어 두어야 한다.
- ② 제1항에 따른 사업주는 물질안전보건자료대상물질을 취급하는 작업공정별로 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 물질안전보건자료대상물질의 관리 요령을 게시하여야 한다.
- ③ 제1항에 따른 사업주는 물질안전보건자료대상물질을 취급하는 근로자의 안전 및 보건을 위하여 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 해당 근로자를 교육하는 등 적절한 조치를 하여야 한다.

제115조(물질안전보건자료대상물질 용기 등의 경고표시)

- ① 물질안전보건자료대상물질을 양도하거나 제공하는 자는 고용노동부령으로 정하는 방법에 따라 이를 담은 용기 및 포장에 경고표시를 하여야 한다. 다만, 용기 및 포장에 담는 방법 외의 방법으로 물질안전보건자료대상물질을 양도하거나 제공하는 경우에는 고용노동부장관이 정하여 고시한 바에 따라 경고표시 기재 항목을 적은 자료를 제공하여야 한다.
- ② 사업주는 사업장에서 사용하는 물질안전보건자료대상물질을 담은 용기에 고용노동부령으로 정하는 방법에 따라 경고표시를 하여야 한다. 다만, 용기에 이미 경고표시가 되어 있는 등 고용노동부령으로 정하는 경우에는 그러하지 아니하다.

(2) 열분해설비 및 공정

폐플라스틱의 열분해 유화시설에 대하여 <표 II-19>와 같이 산업안전보건법에 따른 유해·위험방지계획서 작성·제출 대상 여부, 공정안전보고서 작성·제출 대상 여부, 열분해설비 및 그 부속설비의 안전인증 및 안전검사 대상에 해당하는지 여부에 대해 검토하였다. 세부 내용은 다음과 같다.

<표 II-19> 폐플라스틱 열분해설비 관련 산업안전보건법 검토 대상

관련 조항(제목)	검토 대상
제42조 (유해·위험방지계획서 작성·제출 등)	열분해설비의 유해·위험방지계획서 작성·제출·심사 대상 여부
제44조 (공정안전보고서의 작성·제출 등)	열분해설비의 공정안전보고서 작성·제출·심사 대상 여부
제84조 (안전인증)	열분해설비 및 부속설비의 안전인증 대상 여부
제93조 (안전검사)	열분해설비 및 부속설비의 안전검사 대상 여부

가) 유해위험방지계획서 작성 및 제출 대상 여부 (제42조)

유해위험방지계획서의 작성 및 제출 제도는 산업안전보건법 제42조(유해위험방지계획서 작성·제출 등)에 따라 제조업 주요설비를 설치·이전하거나 주요 구조부분을 변경하기 전에 사전 안전성 심사를 통해 근원적인 안전성을 확보하여 근로자의 안전·보건을 유지 및 증진하기 위한 제도이다. 이 제도를 통해 사업주가 생산 공정과 직접적으로 관련된 건설물·기계·기구 및 설비 등 일체를 설치·이전·변경하기 전에 유해·위험방지계획서를 작성·제출하고 현장 확인을 통해 유해·위험요인을 제거하도록 하고 있다.

사업장의 업종 또는 규모가 유해위험방지계획서 작성 및 제출 대상에 해당되는 경우 사업주는 해당 제품생산 공정과 직접적으로 관련된 건설물, 기계, 기구 및 설비 등 일체를 설치·이전하거나 그 주요 구조부분을 변경할 때에는 작업

시작 15일 전까지 안전보건공단에 유해위험방지계획서를 제출하여야 한다. 유해·위험방지계획서 제출 대상 업종 및 기계설비는 <표 II-20>과 같다.

<표 II-20> 산업안전보건법 시행령 제42조(유해위험방지계획서 제출 대상)

- | |
|---|
| <p>① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업으로서 전기 계약용량이 300킬로와트 이상인 경우(한국표준산업분류에 의한 13개 업종 사업장의 신설·이전·변경 시)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외 2. 비금속 광물제품 제조업 3. 기타 기계 및 장비 제조업 4. 자동차 및 트레일러 제조업 5. 식료품 제조업 6. 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 7. 목재 및 나무제품 제조업 8. 기타 제품 제조업 9. 1차 금속 제조업 10. 가구 제조업 11. 화학물질 및 화학제품 제조업 12. 반도체 제조업 13. 전자부품 제조업 <p>② 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 기계·기구 및 설비(다음 5종의 대상 설비 설치·이전·변경 시)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 금속이나 그 밖의 광물의 용해로 2. 화학설비 3. 건조설비 4. 가스집합 용접장치 5. 근로자의 건강에 상당한 장애를 일으킬 우려가 있는 물질로서 고용노동부령으로 정하는 물질의 밀폐·환기·배기를 위한 설비 |
|---|

페플라스틱 열분해 유화 사업장 중 여러 사업장이 “폐기물처리업”으로 등록되어 있고 일부는 “비금속류 원료 재생업”으로 등록되어 있다. 그러나 유해위험방지계획서 제출 대상은 업종을 기준으로 했을 때는 <표 II-20>의 13개 업종이 해당된다. 따라서 업종 기준으로는 전체 열분해 사업장 중 일부만 유해위험방지계획서 제출대상에 해당될 것으로 판단된다.

기계·기구 및 설비의 관점에서 검토하면, 폐플라스틱 열분해설비는 산업안전보건법 시행령 제42조(유해위험방지계획서 제출 대상) 제2항에서 정의하고 있는 화학설비로 볼 수 있다. 여기서의 화학설비는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제273조에 따른 "특수화학설비"로 단위공정 중에 저장되는 양을 포함하여 하루 동안 제조 또는 취급할 수 있는 양이 같은 규칙 별표 9에 따른 위험물질의 기준량 이상인 것(단, 영 제43조제2항에서 정한 설비는 제외)으로 <표 II-21>과 같다. 여기서 폐플라스틱 열분해설비는 "2. 증류·정류·증발·추출 등 분리를 하는 장치", "3. 가열시켜 주는 물질의 온도가 가열되는 위험물질의 분해온도 또는 발화점보다 높은 상태에서 운전되는 설비", "5. 온도가 섭씨 350도 이상이거나 게이지 압력이 980킬로파스칼 이상인 상태에서 운전되는 설비", "6. 가열로 또는 가열기" 중 하나에 해당된다고 볼 수 있다.

그리고 고용노동부의 "제조업 등 유해·위험방지계획서 제출·심사·확인에 관한 고시" 제3조(계획서 제출대상)에는 산업안전보건법 시행령 제42조제2항에 따른 계획서 제출대상 기계·기구 및 설비의 구체적인 대상을 지정하고 있다. 이 고시에서 산업안전보건법 시행령 제42조제2항제2호에 따른 "화학설비"는 안전보건규칙 제273조에 따른 "특수화학설비"로 단위공정 중에 저장되는 양을 포함하여 하루 동안 제조 또는 취급할 수 있는 양이 안전보건규칙 별표 9에 따른 위험물질의 기준량 이상인 것으로 명시하고 있다.

폐플라스틱 열분해 설비에서 생산되는 열분해유는 등유나 경유와 같거나 유사한 성질의 물질로 인화점이 60℃ 이하인 경우가 많다. 따라서 산업안전보건기준에 관한 규칙 제273조와 별표9에 따라 열분해유의 하루 생산량이 1,000 리터를 넘으면 유해위험방지계획서 제출 대상이 될 수 있다.

산업안전보건법에는 폐기물관리법에 따른 검사를 받은 경우 유해위험방지계획서 제출을 면제받을 수 있는 근거가 없으므로 이에 대한 방안을 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다.

**〈표 II-21〉 산업안전보건기준에 관한 규칙 제273조(계측장치 등의 설치)에 따른
특수화학설비의 종류 및 인화성 액체의 기준량**

○ 산업안전보건기준에 관한 규칙 제273조(계측장치 등의 설치)

사업주는 별표 9에 따른 위험물을 같은 표에서 정한 기준량 이상으로 제조하거나 취급하는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 화학설비(이하 “특수화학설비”라 한다)를 설치하는 경우에는 내부의 이상 상태를 조기에 파악하기 위하여 필요한 온도계 · 유량계 · 압력계 등의 계측장치를 설치하여야 한다.

1. 발열반응이 일어나는 반응장치
2. 증류 · 정류 · 증발 · 추출 등 분리를 하는 장치
3. 가열시켜 주는 물질의 온도가 가열되는 위험물질의 분해온도 또는 발화점보다 높은 상태에서 운전되는 설비
4. 반응폭주 등 이상 화학반응에 의하여 위험물질이 발생할 우려가 있는 설비
5. 온도가 섭씨 350도 이상이거나 게이지 압력이 980킬로파스칼 이상인 상태에서 운전되는 설비
6. 가열로 또는 가열기

○ 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표 9] 위험물질(인화성액체)의 기준량

위험물질(4. 인화성 액체)	기준량
가. 에틸에테르 · 가솔린 · 아세트알데히드 · 산화프로필렌, 그 밖에 인화점이 23℃ 미만이고 초기 끓는점이 35℃ 이하인 물질	200리터
나. 노말헥산 · 아세톤 · 메틸에틸케톤 · 메틸알코올 · 에틸알코올 · 이황화탄소, 그 밖에 인화점이 23℃ 미만이고 초기 끓는점이 35℃를 초과하는 물질	400리터
다. 크실렌 · 아세트산아밀 · 등유 · 경유 · 테레핀유 · 이소아밀알코올 · 아세트산 · 하이드라진, 그 밖에 인화점이 23℃ 이상 60℃ 이하인 물질	1,000리터

비고

1. 기준량은 제조 또는 취급하는 설비에서 하루 동안 최대로 제조하거나 취급할 수 있는 수량을 말한다.
2. 인화성 가스의 기준량은 운전온도 및 운전압력 상태에서의 값으로 한다.

나) 공정안전보고서 작성·제출 대상 여부

공정안전관리(PSM, Process Safety Management)제도는 산업안전보건법 제44조에 따라 석유화학공장 등 중대산업사고를 일으킬 가능성이 높은 유해·위험 설비를 보유한 사업장으로 하여금 공정안전자료, 공정위험성평가, 안전운전 계획 및 비상조치계획 수립 등에 관한 사항을 기록한 공정안전보고서를 작성하게 하고 이를 이행하도록 함으로써 중대산업사고를 예방하기 위해 시행하고 있다.

공정안전보고서 제출대상은 <표 II-22>와 같이 산업안전보건법 시행령 제43조(공정안전보고서의 제출 대상)에서 규정하는 대상 업종 사업장 또는 동 시행령 [별표 13]에서 규정하고 있는 유해·위험물질 중 하나 이상을 규정량 이상 제조·취급·저장하는 사업장이다.

<표 II-22> 산업안전보건법 시행령 제43조(공정안전보고서의 제출 대상)**제43조(공정안전보고서의 제출 대상)**

- ① 법 제44조제1항 전단에서 “대통령령으로 정하는 유해하거나 위험한 설비”란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업을 하는 사업장의 경우에는 그 보유설비를 말하고, 그 외의 사업을 하는 사업장의 경우에는 별표 13에 따른 유해·위험물질 중 하나 이상의 물질을 같은 표에 따른 규정량 이상 제조·취급·저장하는 설비 및 그 설비의 운영과 관련된 모든 공정설비를 말한다.
1. 원유 정제처리업
 2. 기타 석유정제물 재처리업
 3. 석유화학계 기초화학물질 제조업 또는 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업. 다만, 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업은 별표 13 제1호 또는 제2호에 해당하는 경우로 한정한다.
 4. 질소 화합물, 질소·인산 및 칼리질 화학비료 제조업 중 질소질 비료 제조
 5. 복합비료 및 기타 화학비료 제조업 중 복합비료 제조(단순혼합 또는 배합에 의한 경우는 제외한다)
 6. 화학 살균·살충제 및 농업용 약제 제조업[농약 원제(原劑) 제조만 해당한다]
 7. 화약 및 불꽃제품 제조업

[산업안전보건법 시행령 별표 13] 유해·위험물질(인화성 액체) 규정량

번호	유해·위험물질	규정량(kg)
2	인화성 액체	제조·취급: 5,000(저장: 200,000)

비고

1. 인화성 액체란 표준압력(101.3 kPa)에서 인화점이 60℃ 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 물질을 말한다.
2. 인화점의 수치는 태그밀폐식 또는 펜스키마르테르식 등의 밀폐식 인화점 측정기로 표준압력(101.3 kPa)에서 측정한 수치 중 작은 수치를 말한다.
3. 유해·위험물질의 규정량이란 제조·취급·저장 설비에서 공정과정 중에 저장되는 양을 포함하여 하루 동안 최대로 제조·취급 또는 저장할 수 있는 양을 말한다.

공정안전보고서 작성 대상이 되는 유해·위험물질 중 인화성 액체는 표준압력(101.3 kPa)에서 인화점이 60℃ 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 물질을 말하며, 인화성 액체를 하루 동안 최대로 제조·취급하는 양이 5,000 kg 이상이거나 저장량이 200,000 kg 이상일 경우 공정안전보고서 작성 대상이 된다. 폐플라스틱 열분해 유화시설에서 생산되는 물질은 등유나 경유와 같거나 유사한 성질의 물질로 인화점이 60℃ 이하인 경우가 많기 때문에 하루동안 제조·취급하는 양이 5,000 kg 이상일 경우 공정안전보고서 작성 및 제출 대상이 될 수 있다.

폐플라스틱 열분해 사업장 현황 조사 결과에서 폐플라스틱 열분해 유화 사업장이 한국표준산업분류에 따라 등록한 업종은 대부분 <표 II-22>에 제시된 공정안전보고서 작성 및 제출 대상에 포함되지 않는 것으로 나타났다. 사업장의 등록 업종이 공정안전보고서 제출 대상에 해당되면 사업주는 공정안전보고서를 작성하여 고용노동부장관(안전보건공단)에 제출해야 한다. 그리고 업종이 공정안전보고서 제출 및 작성 대상에 해당되지 않지만 하루에 5,000 kg 이상의 열분해유를 제조·취급하거나 200,000 kg 이상을 저장하는 경우에는 공정안전보고서 작성 및 제출 대상이 될 수 있다.

다) 안전인증 및 안전검사

화학공정 유체취급용기 또는 그 밖의 공정에 사용하는 용기(공기 또는 질소 취급용기)로써 설계압력이 게이지 압력으로 0.2 MPa(2 kgf/cm²)을 초과한 경우 안전인증 및 안전검사 대상 압력용기가 된다. 화학공정 유체취급 용기는 증발·흡수·증류·건조·흡착 등의 화학공정에 필요한 유체를 저장·분리·이송·혼합 등에 사용되는 설비로서 탭류(증류탭, 흡수탭, 추출탭 및 감압탭 등), 반응기 및 혼합조류, 열교환기류(가열기, 냉각기, 증발기 및 응축기 등), 필터류 및 저장용기 등을 말하며, 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1에 따른 위험물질(열분해유는 인화성 액체에 해당)을 취급하는 용기도 포함된다.

페플라스틱 열분해설비 중에서 열분해 반응기, 증류기, 열교환기 등의 압력용기 설계압력이 0.2 MPa(2 kgf/cm²)을 초과하면 산업안전보건법 제84조(안전인증) 및 제93조(안전검사)에 따른 안전인증 및 안전검사 대상에 포함될 수 있다.

라) 폭발·화재 및 위험누출에 의한 위험방지 기준

페플라스틱 열분해설비는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2장 폭발·화재 및 위험누출에 의한 위험방지와 관련하여 제1절 위험물 등의 취급, 제2절 화기 등의 관리, 제4절 화학설비·압력용기 부분의 각 조항에 대해 적용받는다. 그리고 제325조(정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)와 제326조(피뢰설비의 설치)도 적용받을 수 있다. 따라서 열분해설비를 설계·제작·설치·운영할 때에는 이들 조항 각각에 대해 적용 여부를 검토하고 반영할 필요가 있다. 각 조항별 세부 내용은 부록 2에 첨부하였다.

3) 위험물안전관리법

(1) 열분해유

위험물안전관리법에서는 인화성액체를 위험물안전관리법 시행령 별표 1의 위험물 및 지정수량 구분기준에 따라 <표 II-23>과 같이 제1석유류부터 제4석유류까지 4단계로 구분한다. 제1석유류는 아세톤, 휘발유와 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 21도 미만인 것을 말하고, 제2석유류는 등유, 경유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 21도 이상 70도 미만인 것을 말한다. 폐기물관리법에 따라 열분해유의 인화점이 섭씨 30도씨 이상이어야 하므로 열분해유는 대부분 제2석유류로 구분될 것으로 판단된다.

(2) 열분해 설비 및 공정

열분해유가 위험물관리법 시행령 별표 1에 따른 제2석유류로 구분되면 페플라스틱을 이용하여 지정수량 이상의 열분해유를 제조하는 열분해설비를 설치하거나 변경할 때에는 위험물관리법 제6조(위험물시설의 설치 및 변경 등)에 따라 관계 기관의 허가를 받아야 하는 대상이 될 수 있다.

<표 II-23>과 같이 열분해유가 제1석유류로 구분되는 경우에는 지정수량 200리터(비수용성액체)를 적용받고, 제2석유류로 구분되면 지정수량 1,000리터(비수용성액체)의 기준을 적용받는다. 생산하는 열분해유의 인화점에 따라 페플라스틱 열분해 설비에서 1일에 200리터(제1석유류) 이상 또는 1,000리터(제2석유류) 이상의 열분해유를 생산하는 경우에는 대부분 위험물안전관리법 제6조 제1항에 따라 설치 허가 대상이 된다. 허가와 관련된 설비의 기준은 위험물안전관리법 시행규칙 [별표 4] “제조소의 위치·구조 및 설비의 기준”과 [별표 18] “제조소등에서의 위험물의 저장 및 취급에 관한 기준”에 따르며, 관련 내용은 부록 3에 첨부하였다.

위험물안전관리법 제18조(정기점검 및 정기검사)에서는 위험물 제조소의 허가 기준에 적합한지의 여부를 정기적으로 점검하고 점검결과를 기록하여 보존하도록 하

고 있다. 위험물 제조소의 정기점검은 지정수량의 10배 이상인 1일에 2,000리터(제1석유류) 또는 10,000리터(제2석유류)의 열분해유를 생산할 경우에 해당되므로 열분해유를 생산하는 사업장의 열분해설비는 정기점검 대상에 해당될 수 있다. 정기점검의 대상이 되는 제조소 중에서 액체위험물을 저장 또는 취급하는 50만리터 이상의 옥외탱크저장소를 보유한 사업장은 정기검사를 받아야 하나, 국내 열분해 사업장 중 이에 해당되는 사업장은 거의 없을 것으로 판단된다. 이상과 같이 열분해유를 저장, 취급하는 시설적인 측면의 안전기준 준수사항 이외에 위험물안전관리법 제15조(위험물안전관리자)에 따른 위험물안전관리자 등의 전문인력을 보유와 관련된 사항에 대한 검토도 필요할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 이 부분에 대한 검토는 연구범위에 포함되지 않아 분석에서 생략하였다.

〈표 II-23〉 위험물안전관리법에 따른 석유류 위험물 및 지정수량(시행령 별표1)

위험물				지정수량
유별	성질	품명		
제4류	인화성 액체	제1석유류	비수용성액체	200리터
			수용성액체	400리터
		제2석유류	비수용성액체	1,000리터
			수용성액체	2,000리터
		제3석유류	비수용성액체	2,000리터
			수용성액체	4,000리터
		제4석유류		

- 1) 제1석유류라 함은 아세톤, 휘발유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 21도 미만인 것을 말한다.
- 2) 제2석유류라 함은 등유, 경유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 21도 이상 70도 미만인 것을 말한다. 다만, 도료류 그 밖의 물품에 있어서 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하이면서 인화점이 섭씨 40도 이상인 동시에 연소점이 섭씨 60도 이상인 것은 제외한다.
- 3) 제3석유류라 함은 중유, 클레오소트유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 200도 미만인 것을 말한다. 다만, 도료류 그 밖의 물품은 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하인 것은 제외한다.
- 4) 제4석유류라 함은 기어유, 실린더유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 200도 이상 섭씨 250도 미만의 것을 말한다. 다만, 도료류 그 밖의 물품은 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하인 것은 제외한다.

4) 화학물질관리법

화학물질관리법 제3조(적용범위)에 따른 제외 대상에 폐기물관리법에 따른 열분해유는 포함되어 있지 않기 때문에 열분해유 제조 설비는 화학물질관리법의 적용대상에 포함될 것으로 보인다. 그러나 페플라스틱 열분해유 자체는 화학물질관리법 제3조(정의)에 따른 유해화학물질(유독물질, 허가물질, 제한물질, 금지물질, 사고대비물질 등)에는 해당되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 화학물질관리법에 따라 사업장 내 유해화학물질 취급시설 검사 대상설비는 폐수처리 목적의 부식성 물질(산·염기) 소량 취급설비 등이 해당될 수 있으나 매우 제한적일 것으로 판단된다.

5) 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률

「화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률(이하 화학물질등록평가법)」 제2조(정의)에서 정의하는 화학물질은 “원소·화합물 및 그에 인위적인 반응을 일으켜 얻어진 물질과 자연 상태에서 존재하는 물질을 화학적으로 변형시키거나 추출 또는 정제한 것”으로 되어있어 열분해유는 이 법에서 정하는 화학물질에 해당될 수 있다. 그리고 화학물질등록평가법의 제3조(적용범위)에는 이 법의 적용을 받지 않는 화학물질에 대해 기술하고 있는데, 「폐기물관리법」에 따른 열분해유는 포함되어 있지 않다. 또한 열분해유는 제11조(화학물질의 등록 등 면제)에 따라 신고하지 않고 화학물질을 제조·수입할 수 있는 대상에 포함되어 있지 않는 것으로 보인다<표 II-24>.

이 때문에 열분해유를 제조하는 사업주는 화학물질등록평가법 제14조(화학물질의 등록 등 신청 시 제출 자료)에서 정하는 자료를 환경부장관에게 제출하여 제10조(화학물질의 등록 등)에 따라 열분해유를 화학물질로 등록하여야 하는 의무가 발생할 수 있다. 또한, 제29조(화학물질의 정보제공)에 따라 열분해유의 유해성 및 위험성 정보, 안전사용정보 등을 작성하여 열분해유를 양수하는 자에게 제공해야 하는 의무도 발생할 수 있다.

〈표 II-24〉 화학물질등록평가법 내 열분해유 관련 사항

제2조(정의)

1. “화학물질”이란 원소·화합물 및 그에 인위적인 반응을 일으켜 얻어진 물질과 자연 상태에서 존재하는 물질을 화학적으로 변형시키거나 추출 또는 정제한 것을 말한다.

제3조(적용범위)

이 법은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 화학물질에는 적용하지 아니한다.

제10조(화학물질의 등록 등)

- ① 연간 100킬로그램 이상 신규화학물질 또는 연간 1톤 이상 기존화학물질을 제조·수입하려는 자(제4항 제2호에 해당하는 자는 제외한다)는 제조 또는 수입 전에 환경부장관에게 등록하여야 한다.

제14조(화학물질의 등록 등 신청 시 제출 자료)

- ① 제10조제1항 또는 제5항에 따라 등록을 하려는 자는 환경부령으로 정하는 바에 따라 다음 각 호의 사항에 관한 자료(이하 “등록신청자료”라 한다)를 제출하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 신규화학물질 또는 기존화학물질의 경우에는 환경부령으로 정하는 바에 따라 해당 자료의 일부를 제출하지 아니할 수 있다.
 1. 제조·수입하려는 자의 명칭, 소재지 및 대표자
 2. 화학물질의 명칭, 분자식·구조식 등 화학물질의 식별 정보
 3. 화학물질의 용도
 4. 화학물질의 분류 및 표시
 5. 화학물질의 물리적·화학적 특성
 6. 화학물질의 유해성
 7. 화학물질의 전 과정에서 취급방법과 노출통제·관리방법을 기술한 노출시나리오를 포함한 위해성(제조·수입하려는 화학물질의 양이 연간 10톤 이상인 경우만 해당한다)
 8. 안전사용을 위한 지침 관련 자료(보호구, 폭발·화재·누출 시 응급조치사항 등)
 9. 그 밖에 환경부령으로 정하는 자료

제29조(화학물질의 정보제공) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 화학물질 또는 해당 화학물질이 들어있는 혼합물을 양도하는 자는 해당 화학물질의 함량이 대통령령으로 정하는 기준에 해당하는 경우에는 양수하는 자에게 해당 화학물질의 등록번호, 명칭, 유해성 및 위해성에 관한 정보, 안전사용정보 등 환경부령으로 정하는 정보를 작성하여 제공하여야 한다. 다만, 「산업안전보건법」 제110조 제1항·제3항 또는 제111조에 따라 물질안전보건자료를 작성·제공하여야 하는 경우에는 해당 정보를 물질안전보건자료에 기록하여 제공하여야 한다.

6) 법적 의무사항 검토결과(요약)

폐플라스틱 열분해설비의 법적 적용 범위에 대한 검토 결과를 요약하면 <표 II-25>와 같다.

<표 II-25> 폐플라스틱 열분해 유화 시설의 법적 의무사항 적용여부 검토 결과

관련 법	규제 구분	검토 결과
폐기물 관리법 (제30조)	인화점 조정	○ 현재 기준으로 열분해유를 시중에 유통하기 위해서는 열분해유의 인화점이 30℃ 이상이 되어야 함
	폐기물처리시설의 설치검사 및 정기검사	○ 법률 개정(안) 따르면 설치 및 정기검사 대상에 포함되므로, 설치 기준에 따라 열분해 설비를 설치해야 하지만 개정 법률 시행 시기는 결정되지 않음
산업안전 보건법	물질안전보건자료 작성(제 조)	○ 열분해유는 폐기물관리법 제2조제1호에서 정의하는 “폐기물 ¹⁴⁾ ”에 해당되지 않으므로 산업안전보건법 제 110조에 따라 물질안전보건자료 작성 대상에 포함될 것으로 판단됨
	유해위험방지계획서의 작성·제출 등(제42조)	○ 등록 업종이 13개 업종에 해당되고 전기 계약용량이 300kW 이상인 경우 생산 공정과 직접적으로 관련된 건설물·기계·기구 및 설비 등 일체를 설치·이전·변경 시 유해위험방지계획서 작성 및 제출 대상이 될 수 있음 ○ 폐플라스틱 열분해설비는 산업안전보건기준에 관한 규칙 273조에 따른 특수화학설비로 분류될 수 있으므로 다음에 해당되는 경우 유해위험방지계획서 작성 및 제출 대상에 포함될 수 있음 - 인화점이 23℃ 미만이고, 초기 끓는점이 35℃ 이하인 열분해유를 하루 하루 200리터 이상인 생산하는 경우 - 인화점이 23℃ 미만이고, 초기 끓는점이 35℃를 초과 하는 열분해유를 하루 하루 400리터 이상인 생산하는 경우 - 인화점이 23℃ 이상 60℃ 이하인 열분해유를 하루 1000리터 이상 생산하는 경우

위험물 안전 관리법	공정안전보고서의 작성·제출(제44조)	○ 등록 업종이 7개 업종에 해당되는 경우 공정안전보고서 작성 및 제출 대상임 ○ 생산한 열분해유의 인화점이 60℃ 이하이고, 열분해유 생산량이 하루 5톤 이상인 경우 공정안전보고서 작성 및 제출 대상임
	안전인증(제84조)	○ 폐플라스틱 열분해설비 중에서 열분해 반응기, 증류기, 열교환기 등의 압력용기 설계압력이 0.2 MPa(2 kgf/cm²)을 초과하면 안전인증 및 안전검사 대상임
	안전검사(제93조)	
	산업안전보건기준에 관한 규칙	○ 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2장 폭발·화재 및 위험누출에 의한 위험방지와 관련하여 제1절 위험물 등의 취급, 제2절 화기 등의 관리, 제4절 화학설비·압력용기 부분의 각 조항에 대해 적용받음 ○ 제325조(정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)와 제326조(피뢰설비의 설치)도 적용받을 수 있음
	열분해유의 분류	○ 폐기물관리법의 인화점 기준(30℃ 이상)을 적용하면 열분해유는 제4류 제2석유류로 구분될 수 있음
	설치허가(제6조)	○ 열분해유의 인화점이 21℃ 미만이면 제1석유류로 구분되고, 지정수량 200리터(비수용성액체)의 적용을 받아 하루 200리터 이상 생산하는 경우 설치허가 대상임 ○ 열분해유의 인화점이 21℃이상 70℃ 미만이면 제2석유류로 구분되고, 지정수량 1,000리터(비수용성액체)의 적용을 받아 하루 1,000리터 이상 생산하는 경우 설치허가 대상임
	정기점검(제18조)	○ 열분해유의 인화점이 21℃ 미만이면 제1석유류로 구분되고, 지정수량 200리터(비수용성액체)의 10배를 적용하여 하루 2,000리터 이상 생산하는 경우 정기점검 대상임 ○ 열분해유의 인화점이 21℃이상 70℃ 미만이면 제2석유류로 구분되고, 지정수량 1,000리터(비수용성액체)의 10배를 적용하여 하루 10,000리터 이상 생산하는 경우 정기점검 대상임

	정기검사(제18조)	○ 정기점검의 대상이 되는 제조소 중에서 액체위험물을 저장 또는 취급하는 50만리터 이상의 옥외탱크저장소를 보유한 사업장은 정기검사를 받아야 함
화학물질 관리법	설치, 정기, 수시 검사(제24조)	○ 사업장 내 유해화학물질 취급시설 검사 대상설비는 폐수처리 목적의 부식성물질(산·염기) 소량 취급설비 등이 해당될 수 있으나 매우 제한적일 것으로 판단됨
화학물질 등록 및 평가에 관한 법률	화학물질의 등록 및 유해성·위험성 정보 등의 제공	○ 열분해유를 화학물질로 등록하고, 열분해유의 유해성 및 위험성 정보, 안전사용정보 등을 작성하여 열분해유를 양수하는 자에게 제공해야 하는 의무가 발생할 수 있음

- 14) 폐기물관리법 제2조 제1호에 따른 “폐기물”이란 쓰레기, 연소재, 옌, 폐유, 폐산, 폐알칼리 및 동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질을 말한다.

Ⅲ. 폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고사례 분석



Ⅲ. 폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고사례 분석

1. 국내 사고사례

2010년부터 2021년 사이에 <표 II-11>의 폐플라스틱 열분해 처리 사업장에서 발생한 화재·폭발 사고 현황은 <표 III-1>과 같다. 대부분의 사고는 근로복지공단의 산재요양 승인 자료를 검색한 결과이며, 7번 및 16번 사고는 언론에 노출된 사고를 역으로 추적하여 찾은 결과이다. 산재요양 승인 자료는 재해자가 발생한 경우에만 생성되기 때문에 재해자가 발생하지 않은 화재·폭발 사고가 더 있을 것으로 추정된다.

2010년 이후로 13개의 사업장에서 19건의 화재·폭발 사고가 발생한 것으로 파악되었다. 이 중 소방청 및 언론자료에서 확인한 사고 2건을 제외하고는 모두 사망자 또는 부상자가 발생한 사고였다. 사고가 발생한 사업장은 대부분 로터리 킬른식 열분해 반응기를 사용하고 있는 것으로 확인되었다. 화재나 폭발사고가 2건 이상 발생한 사업장은 3개소였는데, 이 중 2개소는 최근 3년간 3건의 화재·폭발 사고가 발생한 것으로 확인되었다.

최근 3년간으로 범위를 좁혀 2019년 이후에 발생한 사고만 살펴보면 9개 사업장에서 13건의 화재·폭발 사고가 발생한 것으로 나타났다. <표 II-11>의 폐플라스틱 열분해 업체 수가 26개소였는데, 파악하지 못한 사업장을 고려하더라도 사업장 당 화재·폭발사고 발생 비율이 상당히 높은 수준임을 알 수 있다. 따라서 폐플라스틱 열분해 사업장의 안전확보를 위한 대책 마련이 시급한 것으로 보인다.

〈표 III-1〉 국내 페플라스틱 열분해 사업장의 화재·폭발 사고 현황('10~'21년)

순번	사업장명	발생 년도	발생 형태	공정 구분	재해개요	열분해 반응기 종류
1*	AOO	2010	화재	열분해	페비닐 압축펠렛을 열분해한 후 정제하여 보일러 연료유를 생산하는 작업 중 화재 발생 (사망 1명, 부상 2명)	수직 원통형
2	BOO	2014	화재	가스 소각	잉여가스 소각 중 화재 발생 (부상 1명)	-
3*	COO	2016	화재	잔재물 제거	열분해 반응기 투입구에 걸려있는 철사 제거를 위해 휴대용 연삭기로 철사를 절단하던 중 열분해 반응기 내부에서 화염 발생 (사망 1명)	로터리 킬른
4	DOO	2017	화재	기타	작업 종료 후 안전점검을 위해 공장을 돌아보던 중 한쪽에서 무슨 소리가 나서 확인을 위해 라이터를 켜는 순간 화재 발생(부상 1명)	-
5		2021	화재	열분해	열분해유 제조 중 기계 설비에서 가스 누출로 인하여 화재 발생 (부상 1명)	
6	EOO	2018	폭발	확인 불가	사업장에서 가스불을 점화하려다 가스밸브가 열려있는지 파악을 못해 점화 과정에서 가스폭발 (부상 1명)	-
7	FOO	2019	화재	확인 불가	열분해 반응기 관련 화재 발생 (인명피해 없음)	로터리 킬른
8*	GOO	2019	폭발	가스 소각	가스 소각장에서 가스를 태우기 위해 불붙은 토치를 들고 소각장 문을 열다가 가스 폭발 발생 (부상 1명)	로터리 킬른
9		2020	폭발	열분해	열분해 설비 가동 중 원인 미상의 가스 착화에 의해 폭발 발생 (부상 1명)	
10		2020	화재	열분해	열분해 설비 내부에서 불길의 솟음 (부상 1명)	
11	HOO	2019	화재	가스 소각	열분해 소각로 운전 보조 작업 교육 중 관리자가 자리를 비운 사이에 기름 배관이 갑자기 분리되면서 작은 불꽃이 일어난 후 화재 발생 (부상 1명)	로터리 킬른

순번	사업장명	발생 년도	발생 형태	공정 구분	재해개요	열분해 반응기 종류
12*		2020	화재	원료 투입	열분해 반응기에 폐기물을 투입하기 위 해 뚜껑을 개방하는 순간 가스냄새와 함께 화재 발생 (부상 3명)	
13		2021	화재	잔재물 제거	기름성분이 있는 굳은 물질을 빼기 위 해 전동드릴을 사용하여 작업하다 드릴 이 구조부와 부딪치며 불꽃이 발생하여 그 불꽃으로 화재 발생 (부상 1명)	
14*	IOO	2020	화재	가스 소각	폐플라스틱 열분해 유화공정에서 발생한 폐가스로 화재 발생 (사망 1명)	교반형 탱크
15*	JOO	2021	폭발	열분해	폐플라스틱 열분해 반응기 내부압력 상 승으로 반응기 전면 커버(덮개) 고정 볼 트가 파단 되어 누출된 열분해 증기 및 가스가 점화되어 화재 발생 (사망 2명)	로터리 킬른
16	KOO	2021	화재	가스 소각	소각로 과열 등으로 화재가 발생한 것 으로 추정 (인명피해 없음)	로터리 킬른
17	LOO	2021	화재	정비	옥상에서 배관 용접 작업 중 가스 누출 로 화재 발생(부상 1명)	로터리 킬른
18*	MOO	2021	화재	시운전	열분해유 제조공정에서 원심분리기에 열 분해유를 투입하여 시운전 중 화재·폭발 발생 (사망 1명)	로터리 킬른
19	NOO	2021	화재	확인 불가	공장 소각장에서 착화하기 위해 토치램 프를 사용하여 점화하는 순간 화염이 밖으로 토출됨	-

* 재해조사 의견서가 있는 사고(7건)

2. 국외 사고사례

인터넷 웹사이트 검색을 통해 조사한 외국의 열분해 공정 관련 사고목록을 <표 III-2>에 정리하였다. 조사된 사고사례가 많지는 않았지만 국내 사업장의 사고 예방을 위해 참고할 부분이 있었다. 일부 사고와 관련해서는 사고원인과 예방 대책이 제시되어 있었고, 그 세부 내용은 다음과 같다.

(1) 폐플라스틱 열분해 반응기 가열로 점화 중 폭발 (일본)¹⁾

플라스틱, 필름 등을 열분해하여 가연성가스를 발생시키는 열분해 반응기에서 폭발이 발생하였다. 이 회사에서는 폐지 등을 원료로 하여 원지 등을 제조하고 있었으며, 초지기 드라이어에 증기를 공급하는 열원으로써 각종 플라스틱 용기 등을 열분해 시켰을 때 발생하는 에탄, 메탄 등의 가연성 가스를 이용하는 증기 보일러를 사용하고 있었다. 재해 발생 당일, 피재자 A, B, C는 열분해 반응기를 가열하기 위해 열분해 반응기 하부의 가열로에 폐자재를 쌓아 올리고 그 위에 등유가 묻어있는 종이 기저귀를 올렸다. 이후 열분해 반응기에 플라스틱·필름 등을 투입한 후, 뚜껑을 닫고, 가열로에 먼저 투입한 종이 기저귀를 라이터로 점화하던 중 폭발음과 함께 화염이 발생하면서, 피재자 A는 약 2미터 날아갔고, 근처에 있던 피재자 B, C도 화염으로 화상을 입었다.

[사고원인]

- 가) 점화용으로 투입한 종이 기저귀에 스며든 등유가 장시간 가열로 내에 방치된 상태에서 인접한 가열로로부터 공급된 냉각수(80℃)로 인해 온도가 상승하여 기화함
- 나) 가열로의 개조, 착화방법의 변경 등에 따른 안전작업순서 등의 개정이 이루어지지 않았음

1) 출처: https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/SAI_DET.aspx?joho_no=100116

〈표 III-2〉 외국의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 화재·폭발 사고사례

연번	국가명	사고내용	출처
1	일본	플라스틱·필름 등을 열분해하여 가연성 가스를 발생시키는 열분해 반응기 하부의 가열로에 있는 원료를 점화하는 순간 폭발 발생(3명 부상)	https://anzeninfo.mhlw.go.jp
2	핀란드	2014년 Neste 사업장에서 열분해 설비 시운전 중 공정 이상이 발생하여 열분해 반응기 덮개를 열던 중 열분해 반응기에 유입된 공기와 공정가스가 반응하여 폭발 발생(부상 3명)	https://www.tukes.fi
3	독일	열분해 공장에서 필터 삽입 작업을 할 때 누출된 탄화수소 가스가 점화되어 작업자 화상	https://www.bgrci.de
4	인도	2014년 첸나이에 있는 인도 화학회사에서 열분해 공장이 설치된 곳에서 최대 30m 떨어진 곳에 보일러가 떨어져 1명이 사망하고 2명 부상	https://www.tdplant.com/news/disasters-at-pyrolysis-plants
5	인도	2011년 인도의 타이어 열분해 장치가 고압으로 폭발하여 플랜트 운영자가 심각한 화상을 입음	
6	독일	1998년에 도시 고형폐기물 처리를 위해 제조된 독일 열분해 공장에 사고가 발생하여 열분해가스가 대기 중으로 방출됨	
7	러시아	2012년 Khanty-Mansiysk에 있는 러시아 오일 슬러지 처리 공장에서 열분해가스 폭발이 발생하여 8명이 사망하고, 다른 8명의 근로자는 일산화탄소에 중독되고 화상을 입음	
8	일본	1998년 삿포로시 Sapporo Plastic Recycling(주)에서 폭발 사고 발생 (부상자 3명; 기인물: 로, 가마; 사업장 규모 5~15인)	산업자원부, 폐플라스틱류로부터 대체연료유 생산을 위한 상용화 기술개발에 관한 연구. p.7. 2004.
9	일본	1996년 12월 Niigata시 유화센터에서 설비 시운전 중 화재 발생. 1997년 12월 설비 복구 완료.	



[그림 Ⅲ-1] 열분해 반응기에서의 사고 발생 개요도(일본)

[출처: https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/SAI_DET.aspx?joho_no=100116]

- 다) 가열로의 점검기준이 없었음
- 라) 가열로에서 가연성 가스가 발생하고, 연소를 위한 등유를 사용하고 있음에도 불구하고 작업자에게 필요한 안전보건교육 및 훈련이 이루어지지 않았음

[예방대책]

- 가) 점화 시 연소 촉진재로서 등유를 사용하지 않는다.
- 나) 점화 방법을 버너 점화 등으로 변경한다.
- 다) 로의 제어 방식 등을 근본적으로 검토한다.
- 라) 안전한 작업순서를 정한다.
- 마) 안전교육을 실시한다.
- 바) 안전 및 보건 관리체제를 정비한다.

(2) 페플라스틱 열분해 공장 시운전 중 폭발 (핀란드)²⁾

2014년 핀란드의 상업용 페플라스틱 열분해 오일 생산 공장에서 액면의 급격한 변동으로 인해 공정이 자동으로 중단된 후 사고가 발생했다. 변동의 원인을 확인하기 위해 스크러버와 응축기 사이에 위치한 공정 용기의 덮개(hatch)를 열었다. 덮개를 열기 전에 불활성 가스 분위기를 조성하기 위해 질소를 공정에 공급했다. 그러나 응축기 내부의 액체가 질소 투입 경로를 차단하여 질소는 인접한 발전소 보일러로 흘러갔다. 따라서 공정을 불활성화 하는데 실패했고, 반응이 일어날 수 있는 가스가 여전히 공정에 있었기 때문에 덮개가 열렸을 때 유입된 공기(산소)와 그 공정가스가 반응하여 폭발을 일으켰다. 이로 인해 3명이 부상당했다.

사고 당시 공장은 아직 시운전 단계에 있었기 때문에 직원들은 공장운영 경험이 없었다. 시운전 단계의 목표는 공정이 설계된 대로 실행되도록 하고 실제 생산 단계에 적합한 운영 및 제어 변수를 찾는 것이다. 일반적으로 시운전 단계에서 여러 가지 수정 작업을 수행해야 한다. 따라서 포괄적인 위험 식별 및 위험성 평가는 공장(plant)의 안전을 보장하는데 특히 중요한 역할을 한다.

[예방대책]

- 가) 위험 식별 및 위험성평가를 위해 가능한 최고의 전문가 의견을 반영한다. 위험성평가는 잠재적인 결함까지 충분히 확인할 수 있어야 한다.
- 나) 불활성화 시스템의 계획 및 설계, 특히 불활성화가 성공적으로 수행되었음을 확인할 수 있도록 세심한 주의를 기울여야 한다.
- 다) 다양한 공정 조건에 대처할 수 있도록 탄력적인 공정을 설계한다.
- 라) 간헐적이고 잠재적으로 위험한 작업(예: 설치, 유지보수 및 수리)에

2) 출처: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52747_en/?lang=en,
https://www.tukes.fi/documents/5470659/9181216/joensuu_report_abstract270314.pdf/f648162c-bbca-4130-ac32-bd6d7ce74b9c/joensuu_report_abstract270314.pdf

사용되는 작업허가 및 작업허가 시스템이 명확하게 정의되어야 한다.

- 마) 시운전 단계에 대한 계획(일정 포함)을 규제(인허가) 기관에 제출하는 것이 좋으며, 가급적이면 인허가 절차 중에 제출해야 한다.
- 바) 규제기관은 시운전 단계에 대한 특성 및 특정 자격 조건을 고려해야 한다.

(3) 폐플라스틱 열분해 공장 유지보수 작업 중 폭발 (독일)³⁾

사고 발생 시 열분해 공정 관련 발화성 물질(코크스와 같은 열분해된 제품)이 필터에 침전되어 필터 벤트와 드레인 라인의 흐름이 원활하지 않은 것처럼 보였다. 필터 장착물이 제거되었을 때 잔류 압력으로 인해 상대적으로 빠르게 증발하는 탄화수소와 함께 발화성 물질이 빠져나갔다. 발화성 물질의 누출 및 발열 반응의 결과로 방출된 기체 탄화수소가 점화되었고, 가스에 둘러 쌓여 있던 직원은 점화 후 심각한 화상을 입었다.

폐플라스틱 열분해 설비에서 생성된 열분해 잔재물은 생성된 탄화수소 혼합물로부터 분리된다. 병렬로 작동하는 두 개의 필터 중 하나를 청소하기 위해 셔틀 밸브를 닫으면 생성물이 흐르지 않아 하나의 필터를 꺼낼 수 있다. 그리고 빼낸 필터에 있는 물질은 벤트를 통해 배출된다. 필요한 경우 필터에 있는 잔류 물질은 배출 밸브를 통해 해당 용기로 배출되고 필터 용기를 열고 청소하게 된다. 필터 청소 주기는 제품 품질에 따라 다르며 극단적인 경우 교대 근무마다 여러 번 수행해야 하였다. 필터의 충전 수준은 공정 매개변수(압력차)를 통해 간접적으로 기록되었다.

이 사고는 누출된 자연 발화성 물질에 공기로부터 산소가 빠르게 유입되었고, 수분이 부족한 상태에서 온도가 상승하면서 점화되었을 가능성이 매우 높다고 가정할 수 있다. 점검 결과 다른 점화원은 배제할 수 있을 것으로 판단되었다.

3) 출처: BG RCI, 열분해 플랜트 유지 보수 작업 중 폭발

(<https://www.bgrci.de/exinfo/ex-schutz-wissen/aus-unfaellen-lernen/explosion-bei-wartungsarbeiten-in-einer-pyrolyseanlage>)

(4) 기타⁴⁾

2014년 인도 첸나이에 있는 화학회사의 열분해 공장에서 폭발이 발생하여 공장이 설치된 곳에서 최대 30m 떨어진 곳에 보일러가 떨어져 1명이 사망하고 2명 부상당하였다고 보고되었다.

2012년 러시아 Khanty-Mansiysk에 있는 오일 슬러지 처리 공장에서 열분해 가스 폭발이 발생하여 8명이 사망하였고, 다른 8명의 근로자는 일산화탄소에 중독되고 화상을 입었다. 사고원인은 다음과 같이 제시되었다.

- 가) 시스템에 높은 압력이 축적됨
- 나) 탄소 제거 시스템에 문제 발생
- 다) 시스템에서 가스 등 누출
- 라) 인적 오류(제조업체 또는 공급업체의 부적절한 지침)

2011년 인도 Panchkula 산업 지역의 타이어 열분해 장치가 고압으로 폭발하였다. 이로 인해 공장(plant) 운영자는 심각한 화상을 입었고, 다른 작업자는 페타이어에 불이 붙으면서 가벼운 부상을 입었다.

1998년에 도시 고형폐기물 처리를 위해 제조된 독일 열분해 공장에 사고가 발생하여 열분해가스가 대기 중으로 방출되었다. 이로 인해 인근 지역 전체 주민을 대피시켜야 했고 주변 지역 주민 일부가 병원으로 이송되었다.

3. 사고사례 분석

1) 사고사례별 사고원인

〈표 III-3〉에는 〈표 III-1〉의 19건의 사고 중 재해조사 의견서가 있는 7건의 사고에 대해 사고개요와 사고원인을 나타내었다. 7건의 사고를 공정으로 구분하면 시운전 중 1건, 원료투입 중 1건, 열분해 중 2건, 폐가스 소각 작업 중

4) 출처: IPEC(International Power Ecology Company), 2014.12.18.일 기사(열분해 플랜트 재해) (www.tdplant.com/news/disasters-at-pyrolysis-plants)

2건, 잔재물 제거 중 2건의 사고가 발생한 것으로 나타났다. 7건 모두 회분식 반응기를 이용하는 공정에서 발생하였는데, 5건이 로터리 킬른 반응기 방식에서 발생했고 수직 원통형과 교반형 탱크 반응기에서 각각 1건씩 발생한 것으로 확인되었다.

사고원인은 대부분 기계적인 문제와 관리적인 문제인 것으로 확인되었는데, 사고원인을 체계적으로 분석하기 위해서는 여러 분석 기법을 활용할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

〈표 III-3〉 페플라스틱 열분해 공정에서 발생한 사고 원인('10~'21년)

순번	발생 년도	사고 개요	사고 원인	작업 종류 (반응기 종류)
1	2021	열분해유 제조 공정에서 원심 분리기에 열분 해유를 투입하 여 시운전 중 화재·폭발 발생 (사망 1명)	○ 열분해유 누출로 폭발 분위기 형성 - 원심분리기 시운전 중 인화성액체인 열분해유가 다량으로 누출되었으나 조기에 누출을 감지하지 못해 컨테이너 내부에 화재·폭발 위험분위기 형성 ○ 원심분리기(화학설비) 사용 전 작업 계획 미수립 - 원심분리기 사용 전 화재·폭발을 방지하기 위한 사전검토 미실시 ○ 폭발위험지역 구분 미실시 - 열분해유(인화성액체)를 취급하는 장소에 대해 폭발위험지역 검토 미실시	시운전 (로터리 킬른)
2	2020	페플라스틱 열분 해 반응기 내부 압력 상승으로 반응기 전면 커 버(덮개) 고정 볼 트가 파단 되어 누출된 열분해 증기 및 가스가	○ 열분해 반응기 내부 과압방출 장치 미설치 - 페플라스틱 열분해시 발생하는 고체 탄화물(코크스, cokes)에 의해 열분해유 증기 및 열분해가스의 배출구가 막혀 분해로 내부 압력상승을 초래할 수 있으나 과압을 해소할	열분해 (로터리 킬른)

순번	발생 년도	사고 개요	사고 원인	작업 종류 (반응기 종류)
		점화되어 화재 발생 (사망 2명)	수 있는 안전밸브, 파열판 등의 설비가 설치되어 있지 않음 ○ 열분해 반응기 내부 압력상승 관찰 설비(압력계) 관리 소홀 - 압력계 전단의 도압관 내부에 퇴적된 코크스로 인해 열분해 반응기 내부의 압력이 정확히 측정되지 않을 우려가 있으나, 도압관 내부 청소 등의 관리 미흡 ○ 열분해 반응기 전면 커버(덮개) 고정 볼트(eye bolt) 강도 확보 미흡 - 열분해 반응기 전면 커버를 고정하는 볼트를 자체 제작하는 과정에서 2개의 볼트를 맞대고 겹면만 용접하여 사용함으로써 강도저하 초래 ○ 열분해 반응기 운전에 대한 위험성 평가 미흡 - 열분해 반응기 운전 시 발생 가능한 압력상승, 전면커버 이탈, 압력계 전단 코크스 퇴적에 따른 압력 지시 오류 가능성 등을 사전에 충분히 검토한 뒤 위험성 최소화 대책을 수립하여야 하지만 위험성평가를 실시하지 않음 ○ 열분해 반응기 운전에 대한 기술력 부족 - 열분해 반응기 운전 시 단계별 운전 조건 및 운전범위 이탈시 조치사항 등을 명확히 하고 작업자 교육을 실시하여야 하지만 기술력 부족으로 인해 일부 내용을 구두로 전달하는 수준에 그침	

순번	발생 년도	사고 개요	사고 원인	작업 종류 (반응기 종류)
3	2020	열분해 반응기 에 폐기물을 투 입하기 위해 열 분해 반응기 뚜 껑을 개방하는 순간 가스냄새 와 함께 화재 발생(부상 3명)	○ 공정 및 설비의 설계 및 제작 시 위험성 검토 및 안전대책 적용 미흡(가스이송경로 등) ○ 위험성평가 누락으로 잠재위험 발굴 및 개선조치 미이행(설비의 설계, 운전, 정비 단계) ○ 작업절차 및 방법 부적절(사용 전 인화성 가스 제거 조치 미실시) ○ 작업계획서 미작성(설비 내부 환기조치, 위험물 누출 시 조치사항 등 포함 필요) ○ 안전교육 미실시(취급물질에 대한 위험성 및 안전 작업방법 등) ○ 작업상태 점검 및 이상 상태 조치 미실시(운전 및 정비 시 설비의 적정성, 환기상태 등) ○ 열분해 반응기 내부 잔류 가스(인화성 가스) 누출 및 점화원 접촉 ○ 감스 검지 및 경보장치를 설치하지 않아 누출된 가스의 조기 발견 불가 및 안전조치 미실시	원료투입 (로터리 킬른)
4	2020	페플라스틱 열 분해 유화공정 에서 발생한 폐 가스로 화재 발 생(사망 1명)	○ 작업자에게 MSDS 등 정보제공 및 교육 미실시 - 사업장에서 취급·생산하는 열분해 유(인화성 물질) 및 부산물(폐가스) 등에 대한 MSDS를 보유하고 있지 않으며, 작업자에게 사용물질 등에 대한 정보제공 및 교육을 실시하지 않음. ○ 폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리 미실시	폐가스 소각 (교반형 탱크)

순번	발생 년도	사고 개요	사고 원인	작업 종류 (반응기 종류)
			- 인화성 가스(열분해가스) 등을 취급하는 과정에서 발생될 수 있는 누출 등으로 인한 폭발사고 위험이 있는 장소임에도 불구하고, 폭발위험구역을 설정하여 관리하지 않음. ○ 가스 검지 및 경보장치 미설치 - 인화성 가스(열분해 폐가스) 등이 존재하여 화재·폭발이 발생할 우려가 있는 장소에 가스 누출을 미리 감지하기 위한 가스 검지 및 경보장치를 설치하지 않음.	
5	2019	폐플라스틱 열분해 제조공정의 소각설비에서 피재자가 소각로 맨홀을 열고 수동으로 점화를 하는 순간 폐 가스 (H C , CO 주성분)가 폭발 (부상 1명)	○ 소각설비에서 폐가스 소각에 따른 환기(퍼지)조치 미실시 - 소각설비 내에 폐가스로 인한 폭발 분위기가 형성되어 있는 상태에서 사전 환기(퍼지) 조치 없이 점화하여 가스폭발 발생 ○ 근로자 특별교육 미실시 - 열분해 공정에서 생산되는 열분해유(인화성 액체) 및 열분해가스(메탄, 일산화탄소 등의 인화성 가스)를 취급하는 근로자에게 특별교육 미실시	폐가스 소각 (로터리 킬른)
6	2016	열분해 반응기 투입구에 걸려 있는 철사 제거를 위해 휴대용 연삭기로 철사를 절단하던 중 열분해 반응기	○ 위험물이 있는 장소에서 휴대용 연삭기 사용 - 열분해 반응기 내부는 위험물(인화성 있는 열분해가스 등)이 남아 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있지만, 불꽃 또는 고온을 발생시킬 우려가 있는 휴대용 연삭기를	잔재물 제거 (로터리 킬른)

순번	발생 년도	사고 개요	사고 원인	작업 종류 (반응기 종류)
		내부에서 화염 발생(사망 1명)	사용함	
7	2010	페비닐 압축펠릿을 열분해한 후 정제하여 보일러 연료유를 생산하는 작업 중 화재 발생(사망 1명, 부상 2명)	○ 방폭구조 전기기계기구 미사용 - 화재·폭발 위험이 있는 중간저장조 주변에 설치된 정제로 히터, 연료유 이송펌프용 모터, 대형 선풍기 등을 비방폭형으로 설치함 ○ 작업장 내 위험분위기 형성 - 다량의 열분해유가 작업장 내부 중간저장조에 상시 저장되어 있었으며, - 중간저장조에서 생성되는 인화성 증기를 외부로 배출하기 위한 국소배기장치가 설치되어 있었으나, 열분해유 휘발량이 많아 제품 수율이 낮아지는 관계로 배기댐퍼를 거의 닫은 상태로 운전함으로써 저장조내 유증기가 작업장 외부로 배출되지 못하고 작업장 내부로 확산되어 위험분위기가 형성됨. - 인화성물질을 다량 취급하는 작업장이 옥내에 설치되어 있는 등 통풍·환기 등의 조치가 충분하지 못하였음. ○ 화학설비를 취급하는 건축물의 구조 부적절 - 공장동 건축물과 내부 휴게실이 스티로폼 샌드위치판넬로 설치되어 있어 화재하중(火災荷重)이 높아져 화재가 확산되어 공장동이 전소됨	열분해 (수직 원통형)

2) 사고원인 분류

폐플라스틱 열분해 공정에서 발생한 사고의 원인을 살펴보면 설비적인 문제와 관리적인 문제가 많은 부분을 차지하고 있다. 작업 여건이 열악한 폐플라스틱 열분해 사업장 특징을 고려하면 기계적, 관리적, 물질·환경적, 인적 측면 등 전반적인 관점에서 안전대책을 마련할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 따라서 4M(Machine, Media, Man, Management) 분석방법을 이용하였다. 4M 분석을 위해 재해조사 의견서가 있는 7건의 사고에 대해 사고 원인을 기계적, 물질·환경적, 인적, 관리적 요인으로 분류한 결과는 다음과 같다.

(1) 기계(설비)적 원인

〈표 III-3〉에 제시된 사고원인 중 기계적인 원인은 〈표 III-4〉와 같이 정리할 수 있다. 기계적 원인 대부분은 열분해 설비의 설계 또는 설치단계에서 해결해야 할 요인들이다. 이러한 문제점이 나타난 이유는 아직 폐플라스틱 열분해 설비에 관한 안전기준이 제시되어 있지 않고, 폐플라스틱 열분해 기술이 계속 개발되고 있는 단계이기 때문인 것으로 판단된다. 또한 설비의 설계·제작 및 운영업체가 대부분 근로자수 20인 미만의 소규모 사업장이기 때문에 설비의 설계 및 제작을 위한 명확한 기준을 제시할 필요가 있는 것으로 사료되었다.

(2) 관리적 원인

관리적인 문제점은 〈표 III-5〉와 같이 정리할 수 있으며 대부분 작업계획서나 작업절차서를 제대로 작성하지 않았고, 작성하였더라도 작업자가 내용을 몰라 제대로 지키지 않았기 때문인 것으로 나타났다. 이러한 문제점이 나타난 이유는 앞의 기계적 요인에서와 같이 아직 연구를 통해 열분해 설비와 공정을 개발하고 있어 시설 운영을 위한 명확한 지침이 제시되어 있지 않기 때문인 것으로 판단되었다. 그리고 대부분 설립 후 5년 미만동안 운영한 사업장이기 때문에 설비 운영에 대한 경험이 충분히 축적되어 있지 않고, 교육이 부족하여 작업자가 관련 지식을 충분히 확보하고 있지 않은 것으로 파악되었다.

〈표 III-4〉 페플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 기계적 원인

사고원인	세부적인 사고원인
공정 및 설비 설계 결함	○ 인화성가스의 이송경로 설계 미흡 - 열분해 반응기에서 생성된 열분해가스가 다른 반응기로 이동할 수 있는 이송경로가 형성됨
위험물질이 누출될 수 있는 설비 구조	○ 열분해유 또는 열분해가스가 누출될 수 있는 구조 - 열분해 중 반응기 내부의 열분해가스가 외부로 누출되어 화재 - 원심분리기 시운전 중 열분해유가 다량 누출되어 화재 발생
열분해 설비의 안전장치 미흡	○ 열분해 반응기 내부 과압방출장치(안전밸브, 파열판 등) 미설치 - 페플라스틱 열분해가스 및 증기 배출구 막힘으로 인해 열분해 반응기 내부압력이 상승하였으나 해소되지 않음 ○ 누출된 인화성가스(열분해가스) 검지 및 경보장치 미설치 - 누출된 열분해가스를 인지하지 못해 화재 또는 폭발로 이어짐 ○ 열분해 반응기 내부 압력 측정용 압력게이지 작동 불량 - 도압관 내부에 퇴적된 코크스로 인해 압력게이지 지시값 오류 ○ 사업장 통풍 및 환기 조치 미흡 - 인화성물질(열분해가스, 열분해유 등) 다량 취급 장소의 통풍·환기 불충분
폭발위험장소의 미설정 및 방폭형 전기기계기구 미사용	○ 폭발위험장소의 설정 및 관리 미실시 - 인화성가스(열분해가스), 인화성액체(열분해유) 누출 등으로 인한 폭발사고 위험이 있는 장소에 폭발위험구역을 설정하여 관리하지 않음. ○ 방폭구조 전기기계기구 미사용 - 화재·폭발 위험이 있는 장소 주변에서 방폭형 전기기계기구를 사용하지 않음
열분해 설비 부품의 강도 부족	○ 부적절한 방법으로 제작한 부품 사용 - 열분해 반응기 전면커버 고정볼트를 부적절한 방법으로 자체 제작하여 사용함에 따라 충분한 볼트 강도를 확보하지 못함
배관 등의 막힘 및 게이지 작동 불량	○ 설비의 주기적 청소 및 관리(부품 교체 등) 미흡으로 배관 막힘 및 게이지 작동 불량 - 열분해 반응기 내부 압력 측정용 압력게이지 도압관 내부의 주기적 청소 또는 압력게이지 교체 등의 관리 미흡
열분해 설비 설치 건축물 안전 미흡	○ 화학설비를 취급하는 건축물 구조 부적절 - 공장 건축물 등을 스티로폼 샌드위치판넬로 설치하여 화재 확산

〈표 III-5〉 페플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 관리적 원인

사고원인	세부적인 사고원인
작업계획 및 작업절차서 미흡	○ 작업계획 미수립 및 작업절차서 미작성 - 원심분리기(화학설비) 사용 전 작업계획 미수립 및 사전안전성 검토 미실시 - 설비 내부 환기조치, 위험물 누출 시 조치사항 등이 포함된 작업절차서 미작성 - 전문지식 및 경험 부족으로 열분해 반응기 운전시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈시 조치사항 등을 명확히 작성하지 않음
위험성평가 미흡	○ 설비의 설계, 운전, 정비단계에서 위험성평가 및 개선 조치 미실시 - 공정 및 설비의 설계 및 제작 시 위험성 검토 및 안전대책 적용 미흡(가스이송경로 등) - 열분해 반응기 운전 시 발생 가능한 압력상승, 전면커버 이탈, 압력계 전단 코크스 퇴적에 따른 압력 오지시 가능성 미검토
안전교육 및 정보제공 미흡	○ 안전교육 미실시 - 작업자에게 취급물질의 위험성, 안전한 작업방법 등의 교육 미실시 - 인화성액체(열분해유) 및 인화성가스(열분해가스) 취급 근로자에게 특별교육 미실시 - 열분해 반응기 운전시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈시 조치사항 등을 작업자에게 명확하게 교육하지 않음 ○ 취급물질 안전정보 미보유 - 사업장에서 취급·생산하는 물질(열분해유, 열분해가스 등) 등에 대한 MSDS 미보유 ○ 안전정보 미제공 및 미게시 - 작업자에게 취급물질에 대한 MSDS 등의 안전정보 미제공 및 미게시
작업 전 안전조치 미흡	○ 열분해 설비 사용 전 인화성가스 제거 및 환기 조치 미실시 - 열분해 반응기에 연료 투입 전 반응기 내부의 인화성 가스 제거 및 환기조치 미실시 - 가열기 점화 시 가스밸브 열림 상태 및 가스누출여부를 확인하지 않고 가스가 누출된 상태에서 점화(환기(퍼지)조치 미실시) - 소각로 내에 폐가스로 인한 폭발분위기가 형성되어 있는 상태에서 사전 환기(퍼지) 조치를 하지 않고 점화 - 반응기 내부의 열분해 잔재물 제거 전 열분해가스 제거 및 환기 미흡
부적절한 작업방법 적용	○ 인화성물질이 있는 장소에서 휴대용 연삭기 사용 - 위험물(열분해가스 및 잔재물)이 있어 화재·폭발이 발생할 우려가 있는 열분해 반응기 내부에서 휴대용 연삭기 사용 ○ 생산성 향상을 위해 안전설비 기능 미사용 - 열분해유 수위를 높이기 위해 국소배기장치의 배기 댐퍼를 닫고 운전하여 작업장 내에 유증기가 확산되어 위험분위기 형성

(3) 인적 원인

인적인 문제점은 <표 III-6>과 같이 정리할 수 있다. 인적 요인은 작업자가 관련 교육을 충분히 받지 못한 결과로 인한 기술, 지식, 정보부족인 것으로 나타났다.

<표 III-6> 페플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 인적 원인

사고원인	세부적인 사고원인
업무지식 및 기술 부족	○ 열분해 반응기 운영 관련 지식, 기술, 경험 등 부족 - 열분해 반응기 운전시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈시 조치사항 등을 명확히 인지하지 못함 - 작업장소 및 취급물질의 위험성을 인지하지 못함

(4) 물질·환경적 원인

물질·환경적인 요인은 <표 III-7>과 같이 정리할 수 있다. 물질·환경적 요인은 페플라스틱 열분해유 증기 및 열분해가스가 작업장에 노출되어 화재·폭발 위험분위기를 형성한 것으로 나타났다.

<표 III-7> 페플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고의 물질·환경적 원인

사고원인	세부적인 사고원인
열분해유 증기 및 열분해가스 누출	○ 열분해 설비에서 인화성가스 누출 - 국소배기장치 댐퍼를 닫고 운전하여 중간저장조에서 누출된 열분해가스 및 증기가 작업장 내부로 확산되어 폭발위험분위기 형성 - 열분해 반응기에서 열분해가스 누출로 폭발위험분위기 형성 - 소각설비 내에 소각용 열분해가스 누출로 폭발위험분위가 형성 - 원심분리기 시운전 중 열분해유가 누출되어 폭발위험분위기 형성

3) 시스템적 분석

시스템적 사고분석방법 중 STAMP-CAST(System Theoretic Accident Model and Processes - Causal Analysis on Systems Theory), 업무흐름에 따른 분석, AcciMap을 이용하여 사고원인분석을 수행하였다. 세 분석방법 모두 재해조사의견서를 기반으로 분석하였다. AcciMap 분석에서는 추가 조사가 필요한 부분이 발견되어 사업장 방문을 통해 추가 조사 및 분석을 진행하고자 하였으나 해당 사업장에서 방문을 거부하여 수행하지 못하였다. 각 방법에 따른 분석결과는 다음과 같다.

(1) STAMP-CAST 분석

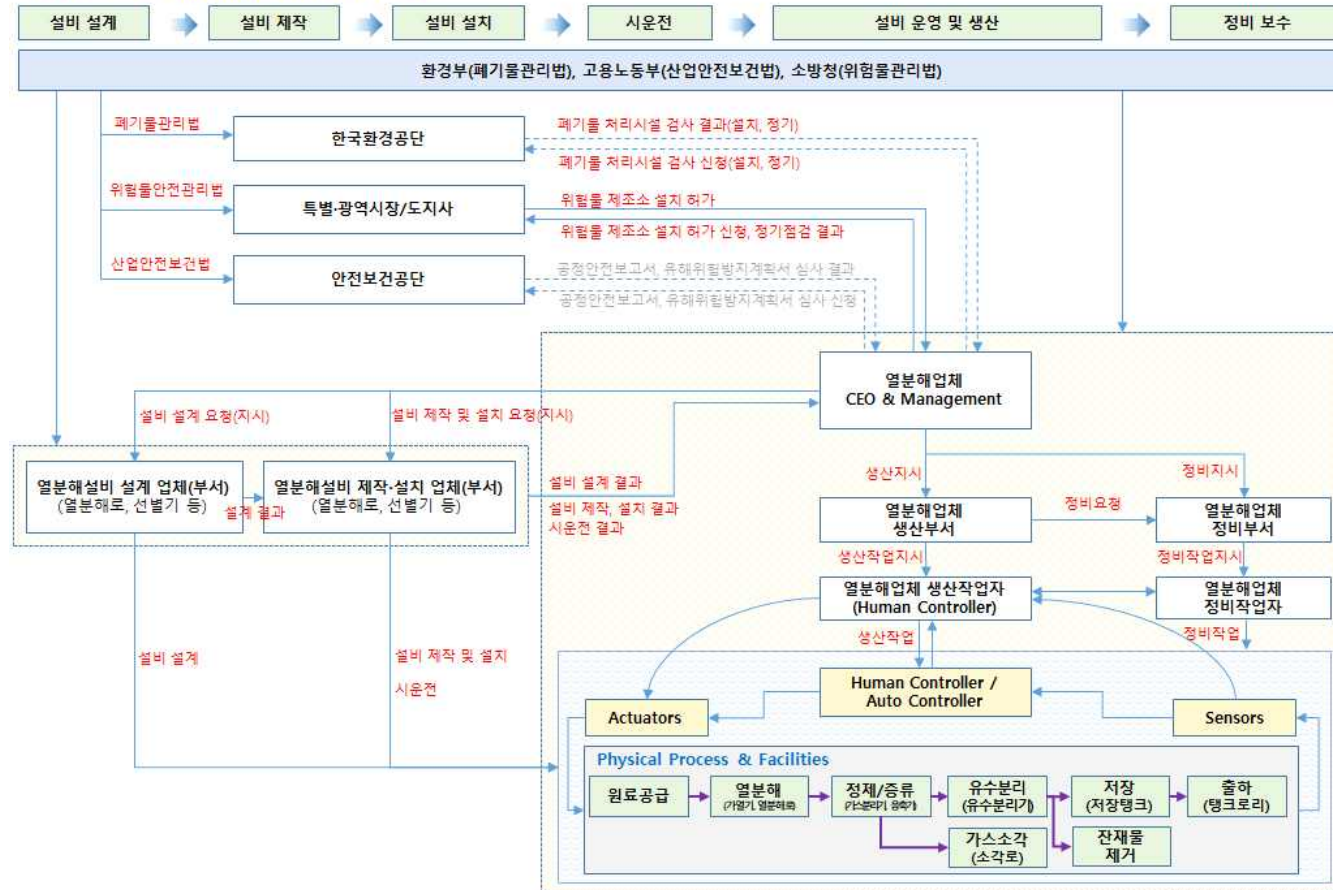
재해조사의견서가 작성된 분석 대상 사업장 7개소 모두 20인 미만의 소규모 사업장이어서 비슷한 조직구조를 가지고 있는 것으로 파악되었기 때문에 7개 사업장의 사고분석을 위한 모델을 하나로 통합하여 작성하였다. 일부 업체는 자체적으로 설비를 설계하였고, 일부 업체는 중국에서 수입하거나 설비 제작 업체에서 구매하여 설치하는 경우도 있었기 때문에 설비의 설계, 제작, 설치는 관련 업체 또는 부서로 표시하였다.

[그림 III-2]는 페플라스틱을 이용한 열분해 중 사고와 관련된 안전제어구조도이다. 전체 공정은 설비의 설계와 제작 및 설치, 시운전, 설비 운영 및 생산, 정비보수로 구성하였다. 분석대상 시스템의 범위는 업무적으로는 설비의 설계, 제작, 설치, 시운전, 운영 및 정비보수로 설정하였고, 조직적으로는 페플라스틱 열분해업체와 열분해 공정 및 설비, 열분해설비 설계·제작·설치업체, 환경부, 고용노동부, 소방청과 이들이 적용받는 관련 법령(폐기물관리법, 산업안전보건법, 위험물관리법)도 포함시켜 분석을 수행하였다. 분석대상으로 설정한 시스템 구성요소는 다음과 같다.

- 정부기관(관련법): 환경부(폐기물관리법), 고용노동부(산업안전보건법), 소방청(위험물안전관리법)
- 열분해설비 설계 업체
- 열분해설비 제작 및 설치업체
- 열분해업체: 생산부서, 생산작업자, 정비부서, 정비작업자
- 열분해 공정 및 설비: 원료공급, 열분해(열분해 반응기), 정제/증류(기수분리기, 응축기, 증류기), 유수분리(유수분리기), 저장(저장탱크), 가스소각(소각로), 출하(탱크로리), 제어기·센서·액츄에이터

STAMP-CAST 분석방법에 따르면 시스템을 구성하고 있는 구성요소의 안전 책임, 사고와 관련된 잘못된 결정과 그 결정 배경, 사고에 기여한 요인 등을 체계적으로 기술하도록 되어 있다. 그러나 본 연구에서는 보유하고 있는 자료의 한계로 인하여 7건의 재해조사 의견서를 중심으로 사고에 기여한 요인을 중심으로 분석한 결과를 <표 III-8>에 나타내었다. 시스템의 구성요소 중 공정 및 설비의 사고 위험요인은 별도로 분석한 <표 III-9>의 업무절차에 따른 사고 기여 요인에 별도로 제시하였다.

* 페플라스틱 열분해 유화 관련 제어 구조도



[그림 III-4] 페플라스틱 열분해 관련 안전제어구조도

〈표 Ⅲ-8〉 시스템 구성요소별 사고기여요인

시스템 구성요소		사고 기여 요인
정부기관	환경부 (폐기물관리법)	○열분해설비의 제작 및 설치 기준이 없고, 열분해 반응기가 설치 및 정기검사 대상에 포함되지 않음(2022년 설치검사 대상으로 입법예고 되었으나 향후 일정 불명확)
	고용노동부 (산업안전보건법)	○업종 기준으로는 폐기물처리업이 공정안전보고서와 유해위험 방지계획서 작성 및 제출 대상에 포함되지 않음
	소방청 (위험물관리법)	○유사 사업장에서 화재가 계속 발생하고 있지만 체계적인 대응 방안이 마련되지 않음
열분해설비 설계, 제작, 설치업체 (설계, 제작, 설치부서)		○설비를 자체 기준으로 설계함 ○설비의 설계 및 제작 시 적절한 안전장치를 반영하지 않음 - 압력방출장치 또는 파열판 미반영 및 미설치 - 가스검지 및 경보장치 미반영 및 미설치 ○설비의 안전한 사용을 위한 적절한 사용설명서, 운전방법 등을 작성 및 제공하지 않음 ○설계도면 및 설비의 설계 관련 정보를 설비운영업체에 제공하지 않음 ○방폭 및 화재·폭발 예방 기준이 적절하게 반영되지 않음 ○코크스 및 이물질 등에 의해 배관이 막힐 수 있는 구조로 설계함 ○위험성평가를 실시하지 않거나 부실하게 수행하고, 위험성 평가 결과에 따른 개선 조치를 하지 않음
열분해 업체	사업주	○안전 관련 법규에 대한 지식 및 정보 미흡 ○안전보다는 설비의 운영에 중점을 둠 ○안전장치가 제대로 갖추어지지 않은 제품을 수입함 ○공정 및 설비, 물질의 위험성에 대한 지식 및 정보 부족 ○작업자 안전교육(특별교육 포함) 미실시 ○공정 및 작업자에 대한 안전관리 미흡 - 작업자에게 MSDS 등 안전정보 미제공 및 미게시 ○위험성평가 미실시 및 위험성평가 결과에 따른 개선 조치 미흡 ○설비운전 관련 안전조치 및 절차 미흡 ○안전관리체계를 갖추지 않음 ○제전 성능이 확보된 작업복을 지급하지 않음
	생산부서	○폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리 미실시 ○방폭구조 전기기계기구 미사용 ○열분해 반응기 운전에 대한 교육 부족 ○작업계획 및 작업절차서 미작성 또는 미흡 - 설비 내부 환기조치 미흡

시스템 구성요소	사고 기여 요인
	- 위험물 누출 시 조치사항 미흡 ○시운전 관련 안전조치 및 절차 미흡 ○작업상태 점검 및 이상 상태 조치 미 실시(운전 및 정비 시 설비의 적정성, 환기상태 등) ○열분해 반응기 운전에 대한 위험성평가 미흡 ○위험성평가 누락으로 잠재위험 발굴 및 개선조치 미시행 ○열분해 반응기 운전에 대한 기술력 및 경험 부족 ○안전한 작업을 위한 매뉴얼을 갖추지 않거나 불명확함 ○부적절한 작업절차 및 방법 적용(사용 전 인화성 가스 제거 조치 미 실시) - 인화성물질이 있는 장소에서 휴대용 연삭기를 사용 허가 - 소각로에서 폐가스 소각에 따른 환기(퍼지)조치 미 실시 ○작업자에 대한 안전 및 기술교육 미흡 ○설비 운영 중 생산되는 물질(액체, 가스)의 위험성 인지 미흡 ○설비 안전운전절차 미준수
생산작업자	○열분해 반응기 운전에 대한 지식, 기술, 경험 부족 ○MSDS 등 작업 위험정보 인식 미흡
정비부서	○열분해 반응기 내부 압력상승 관찰 설비(압력계) 관리 소홀 ○열분해 반응기 전면커버 고정볼트(eye bolt) 강도 확보 미흡 ○작업자에 대한 MSDS 등 정보제공 및 교육 미 실시 ○열분해 반응기 운전 및 정비에 대한 기술력 및 경험 부족 ○열분해 반응기 정비에 대한 위험성평가 미흡 ○안전한 작업을 위한 매뉴얼을 갖추지 않거나 불명확함 ○위험성평가 누락으로 잠재위험 발굴 및 개선조치 미시행 ○작업자에 대한 안전 및 기술교육 미흡 ○설비 운영 중 생산되는 물질(액체, 가스)의 위험성 인지 미흡 ○안전절차 미준수 ○시운전 관련 안전조치 및 절차 미흡 ○열분해 반응기 설비의 설계도면 및 설계자료 미보유 ○설비관리 미흡 - 열분해 반응기 커버 체결을 위한 볼트를 자체적으로 제작하여 사용함에 따라 볼트 강도가 충분히 유지되지 않음 - 압력게이지 도입관 내부의 코크스를 제거하지 않고 압력 게이지를 교체하여 도입관이 부분적으로 막히거나 폐쇄됨 - 압력게이지 도입관을 별도로 관리하지 않음
정비작업자	○열분해 반응기 운전 및 정비에 대한 지식, 기술, 경험 부족 ○MSDS 등 작업 위험정보 인식 미흡

(2) 업무흐름에 따른 사고기여요인 분석

열분해를 위한 전체 공정을 설비의 설계와 제작 및 설치, 시운전, 설비 운영 및 생산, 정비보수로 구성하고, 각 업무 단계를 세부적으로 구분하여 각 업무 단계에서의 문제점을 <표 III-9>와 같이 분석하였다. 이 결과를 각 업무단계에서의 위험요인 도출에 활용하고자 하였다.

<표 III-9> 업무절차에 따른 사고기여요인

연번	업무구분	사고기여요인
1	공장설계 및 건축	○공장동 건축물과 내부 휴게실이 스티로폼 샌드위치 패널로 설치되어 화재하중이 높아짐
2	열분해 설비 설계	○설비의 운영 및 생산에 중점을 둠 ○열분해설비의 설계, 제작, 안전기준 없음 - 열분해 반응기 커버 체결볼트를 탄소강 재질로 선정함에 따라 고온에서 강도가 저하됨(수시로 교체 필요) - 열분해 반응기 내부 압력 상승 시 과압 해소를 위한 안전밸브나 파열판과 같은 압력방출장치가 반영되지 않음 - 열분해 반응기, 코크스 배출구, 응축기 등에 볼밸브를 설치하여 압력을 제어함에 따라 운전 중 압력 상승 시 자동으로 내부 압력 방출 불가 - 열분해 반응기 내부 압력 변화 관찰용 압력게이지를 기록이나 전송 형태가 아닌 육안 확인용만 설치함 - 열분해가스가 또는 유증기가 작업장 내부로 유출될 수 있는 구조로 설계함 - 소각설비의 소각용 가스가 공기 중으로 누출될 수 있는 구조로 설계함 - 코크스가 압력계나 온도계 도입관 및 인입부에 퇴적되는 경우 온도 및 압력 오지시 또는 지시 불능 가능성 있음 ○방폭 및 화재·폭발 예방 기준이 적절하게 반영되지 않음 - 폭발 위험지역을 구분하지 않음 - 열분해가스 및 유증기에 의한 화재·폭발 위험분위기 형성에 따른 위험지역(방폭지역) 구분 및 그에 따른 방폭형 전기기계·기구 설치 등을 검토하지 않음 - 가스 폭발 위험장소에 설치하는 기계·기구를 비방폭 구조로 선정함 - 열분해가스 및 증기가 누출되는 중간저장조 주변의 설비(정제로 히터, 연료유 이송 펌프용 모터, 대형 선풍기)등에 대한 설계를 방폭형으로

연번	업무 구분	사고기여요인
		하지 않음 - 열분해유를 취급하는 설비를 비방폭형으로 설계함 (원심분리기의 모터, 전기판넬, 열분해유 공급용 모터 미 펌프, 열분해유 이송용 모터 및 펌프 등) - 가열기, 열분해로, 소각설비 등 가스 누출에 따른 화재·폭발 위험지역에 가스검지 및 경보장치가 반영되지 않음 ○코크스 및 이물질 등에 의해 배관이 막힐 수 있는 구조로 설계함 - 열분해가스와 증기가 스크류와 스크류 하우징(screw housing) 사이(약15mm)를 통해 빠져나가도록 되어 있어 코크스의 생성량이 많을 경우 막힘 현상이 발생하여 열분해 반응기 내부압력이 상승할 위험이 있음 ○위험성평가 미실시 및 위험성평가 결과에 따른 개선 조치 미흡 - 설비의 설계 및 제작 시 공정 위험성 검토가 미흡하여 열분해가스가 외부로 배출되는 이동 통로가 형성됨
3 & 4	열분해 설비 제작 및 설치	○설비의 운영 및 생산에 중점을 둠 ○열분해설비의 안전장치 미설치 및 안전 미확보 - 열분해 반응기 내부 압력 상승 시 과압 해소를 위한 안전밸브나 파열판과 같은 압력방출장치가 설치되지 않음 - 열분해 반응기, 코크스 배출구, 응축기 등에 볼밸브를 설치하여 압력을 제어함에 따라 운전 중 압력 상승 시 자동으로 내부 압력 방출이 불가능한 구조로 설치함 - 열분해 반응기 내부 압력 변화 관찰용 압력게이지를 기록이나 전송 형태가 아닌 육안 확인용으로 설치함 - 열분해가스가 또는 유증기가 작업장 내부로 유출될 수 있는 구조로 설치함 - 소각설비의 소각용 가스가 공기 중으로 누출될 수 있는 구조로 설치함 - 압력계 도입관 및 인입부에 코크스가 퇴적되는 경우 압력 오지시 또는 지시 불능 가능성 있는 구조의 압력게이지를 설치함 ○방폭 및 화재·폭발 예방 기준이 적절하게 반영되지 않음 - 폭발 위험지역을 구분하지 않음 - 열분해가스 및 유증기에 의한 화재·폭발 위험분위기 형성에 따른 위험지역(방폭지역) 구분 및 그에 따른 방폭형 전기기계·기구 설치 등을 검토하지 않음 - 가스 폭발 위험장소에 설치하는 기계·기구를 비방폭 구조로 설치함 - 열분해가스 및 증기가 누출되는 중간저장조 주변의 설비(정제로 히터,

연번	업무 구분	사고기여요인
		연료유 이송 펌프용 모터, 대형 선풍기)등에 대한 설계를 방폭형으로 설치하지 않음 - 열분해유를 취급하는 설비를 비방폭형으로 설치함 (원심분리기의 모터, 전기판넬, 열분해유 공급용 모터 및 펌프, 열분해유 이송용 모터 및 펌프 등) - 가열기, 열분해로, 소각설비 등 가스 누출에 따른 화재·폭발 위험지역에 가스검지 및 경보장치를 설치하지 않음 ○코크스에 의해 배관이 막힐 수 있는 구조로 제작함 - 열분해가스와 증기가 스크류와 스크류 하우징(screw housing) 사이 (약15mm)를 통해 빠져나가도록 되어 있어 코크스의 생성량이 많을 경우 막힘 현상이 발생하여 열분해 반응기 내부압력이 상승할 위험이 있음 ○위험성평가 미실시 및 위험성평가 결과에 따른 개선 조치 미흡 - 설비의 제작 및 설치과정에서의 위험성 검토가 미흡하여 열분해가스가 외부로 배출되는 이동 통로가 형성됨 ○안전장치가 제대로 갖추어지지 않은 국외 제품을 수입하여 설치함
5	시운전	○작업계획 및 작업절차서 미작성 또는 미흡 - 원심분리기(화학설비) 사용 전 작업계획 미수립 및 사전안전성 검토 미실시(운전방법, 응급조치방법, 누출 시 조치 등) - 위험물 누출 시 조치사항 등이 포함된 작업절차서 미작성 - 시운전 시 설비 내의 인화성가스를 제거하거나 불활성가스로 치환하기 위한 방법 미반영 - 전문지식 및 경험 부족으로 열분해 반응기 운전시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈시 조치사항 등을 명확히 작성하지 않음 - 숙련된 기술자 및 전문가 부족으로 부실하게 작성하거나 미작성 ○시운전 관련 안전조치 및 절차 미흡 - 시운전 절차, 배관 및 밸브 접합부의 누설여부 점검, 안전운전계획, 시운전 기록 등을 확인 불가 - 시운전 시 설비 내의 인화성가스를 제거하거나 불활성가스로 치환하지 않음 - 시험이 완료된 열분해 반응기의 배기관 열림 및 닫힘 상태를 확인하지 않아 배기관 밸브가 닫혀 있어 열분해로 내부의 폐가스가 배출되지 않음 - 열분해가스를 이용한 통기시험 후 공정 내의 폐가스 제거 조치를 수행하지 않음

연번	업무구분	사고기여요인	
		○위험성평가 미 실시 및 위험성평가 결과에 따른 개선 조치 미흡 - 열분해가스가 외부로 배출되는 이동 통로가 구성됨 ○작업자가 제전 성능이 확보되지 않은 합성섬유 재질의 의복을 착용함 ○외국에서 설계 및 제작한 설비를 수입하면서 설치 및 운전이 지연됨	
6	설비 운영 및 생산	작업절차서 작성, 위험성평가 등 준비	○작업계획 및 작업절차서 미작성 또는 미흡 ○설비운전 관련 안전조치 및 절차 미흡 ○위험성평가 미 실시 및 위험성평가 결과에 따른 개선 조치 미흡
		페플라스틱 투입	○열분해 반응기 투입구 개방 시 내부의 인화성물질을 제거하지 않음
		열분해	○열분해시 생성되는 코크스(cokes) 형태의 고체폐기물이 스크류 부위에 퇴적되어 열분해가스의 배출이 되지 않아 열분해 반응기 내부 압력이 상승함 ○스크류의 끝부분과 머리 부분에 페플라스틱 입고 당시 묶음용으로 사용한 것으로 추정되는 철사가 감김 ○열분해 반응기 커버와 본체 접촉면을 통해 열분해유 증기가 지속적으로 누출됨 ○열분해 반응기 내부 압력 상승에 의한 폭발 발생 ○생산 수율 향상을 위해 배기 덕트 댐퍼를 조절(닫음)하여 중간저장조에서 발생된 열분해가스 및 유증기가 외부로 배출되지 않아 증기가 작업장 내부에 축적됨 ○설비에서 누출된 열분해가스 및 유증기를 선풍기를 이용하여 외부로 배출시킴 ○인화성 물질 배출을 위한 통풍, 환기 조치 등 미흡 ○페플라스틱 열분해 시 발생하는 고체 탄화물은 열분해 반응기 내부 및 열분해 반응기와 연결된 스크류, 압력계, 온도계 등 계측장치 도입관 등에 쉽게 퇴적됨
		응축	-
		가스 분리	-
		유수 분리	-
		저장	-
		잉여가스 소각	○소각로에서 폐가스 소각을 위한 소각장치 작동(점화) 전 환기(퍼지) 조치 미 실시

연번	업무구분	사고기여요인	
			○소각로 내에 폐가스로 인한 폭발분위기가 형성되어 있는 상태에서 사전 환기(퍼지)조치를 취하지 않고 점화시킴 ○소각로에서 폐가스 소각에 따른 환기(퍼지)조치를 실시하지 않음 ○열분해 설비 가동 후 폐가스 소각로를 가동하지 않고(약3시간), 폐가스 배관이 닫혀 있는 상태로 운전함에 따라 폐가스가 외부로 유출됨 ○폐가스가 누출 된 상태에서 소각로 내의 토치를 라이터로 점화하던 중 화재 발생
		잔재물 제거	○열분해 반응기 내부에 분해가스가 남아 있는 상태에서 투입구 하단의 철사를 휴대용 연삭기를 이용하여 절단함(수공구 미사용)
		출하	-
7	유지보수 및 관리	○열분해 반응기 설비의 설계도면 및 설계자료 미보유 ○설비관리 미흡 - 열분해 반응기 커버 체결을 위한 볼트를 자체적으로 제작하여 사용함에 따라 볼트 강도가 충분히 유지되지 않음 - 압력게이지 도입관 내부의 코크스를 제거하지 않고 압력게이지를 교체하여 도입관이 부분적으로 막히거나 폐쇄됨 - 압력게이지 도입관을 별도로 관리하지 않음	

(3) AcciMap 분석

다음 사고를 재해조사의견서를 기반으로 AcciMap을 이용하여 분석하였고, 그 결과를 [그림 III-3]에 나타내었다. 분석 결과에서 추가로 조사가 필요한 사항이 확인되었지만, 사업장에서 방문을 거절하여 재해조사의견서로 확인 가능한 범위에서만 분석을 수행하였다. 이 분석을 통해 법적 문제점과 사업장의 조직적인 문제점 등 시스템 전반적인 문제점을 도출할 수 있었고, 분석결과는 열분해 공정 및 설비의 위험요인 도출에 활용하였다.

○ 사고 개요

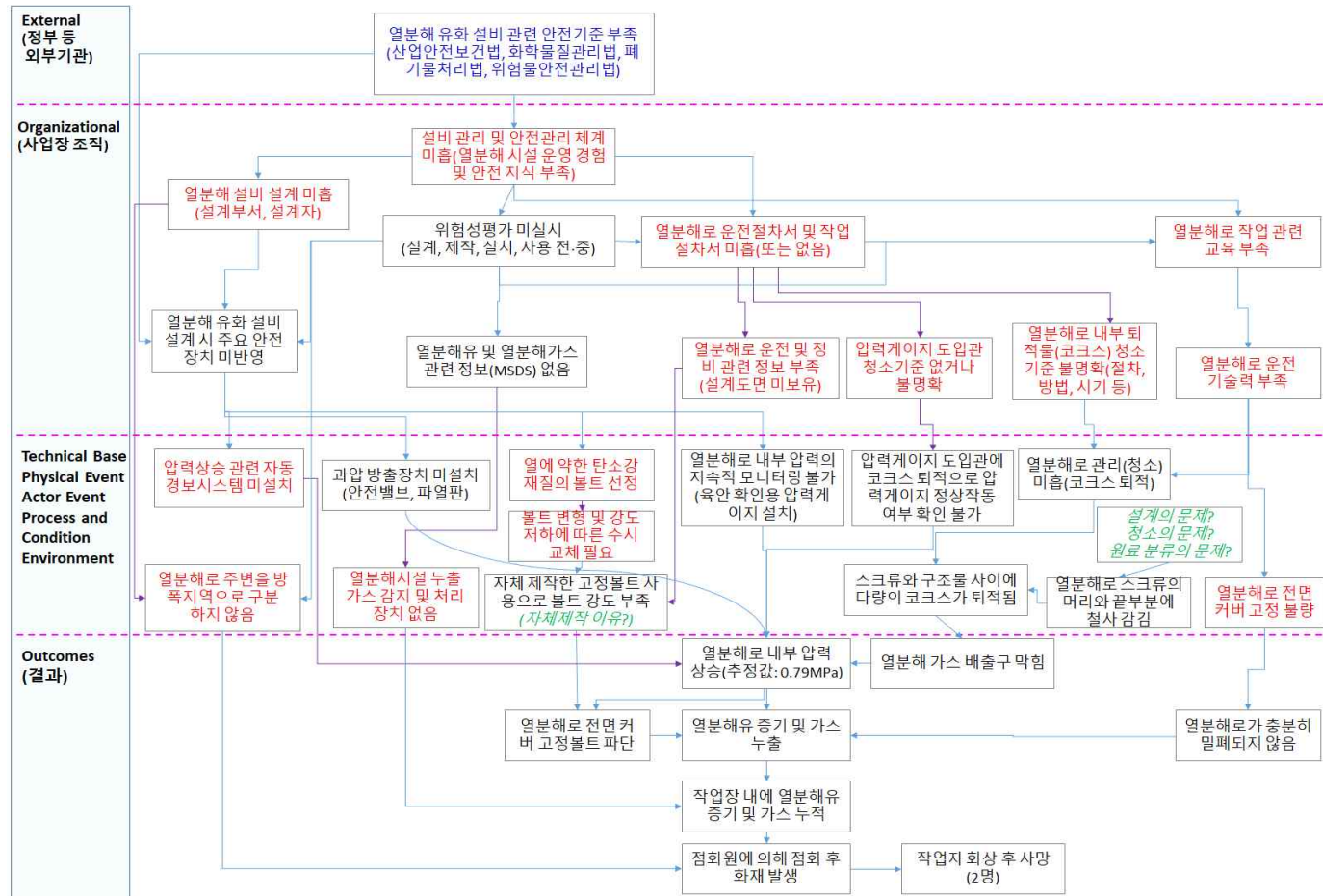
2020년에 ○○시 소재 ○○○○(주) 내에서 운전 중이던 폐플라스틱 열분해 반응기의 내부압력 상승으로 분해로 전면커버 고정볼트가 파단되어 누출된 열분해유 증기 및 가스가 점화되어 화재로 이어져 열분해 반응기 주변에서 작업 중이던 근로자 2명 사망

○ 사고발생 반응기 제원

[표] 사고가 발생한 폐플라스틱 열분해 반응기의 제원

반응기 형식	용량(m ³) (ID×TL mm)	온도(°C)		압력 (kgf/cm ² .G)		재질
		설계	운전	설계	운전	
로터리 킬른 (Rotary Kiln)	(31.8) 2600×6000	자료 없음	400	자료 없음	0.95	C.S(탄소강) +내화물

페플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안



[그림 III-3] 열분해 반응기 사고의 AcciMap 분석 결과

IV. 폐플라스틱 열분해 공정 및 설비의 위험성

.....

IV. 폐플라스틱 열분해 공정 및 설비의 위험성

1. 열분해 생성 물질의 위험성

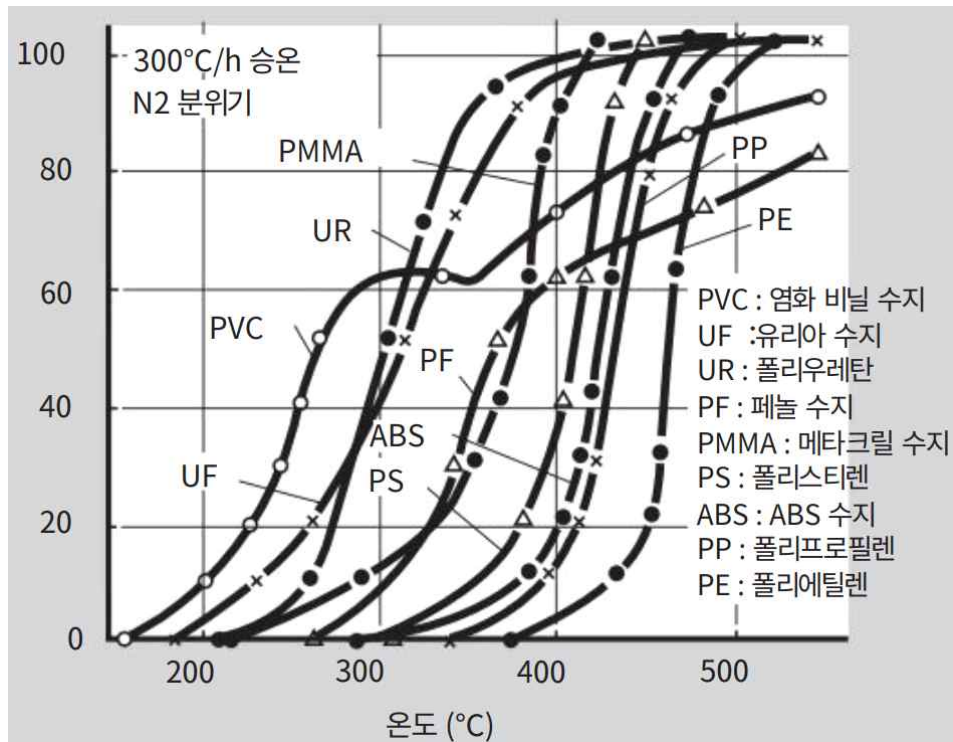
1) 플라스틱 종류에 따른 열분해 온도와 질량 변화¹⁾

일반적으로 플라스틱류는 공기(산소)를 차단한 상태에서 200~400 ℃ 이상으로 가열하면 분해되어 기름과 가스가 되는 것으로 알려져 있다. 열분해 진행 상태는 플라스틱의 종류나 열분해 온도에 따라 상당히 다르다. 그 예를 [그림 IV-1]에 나타내었다. 그림에서 폴리염화비닐(PVC)은 200~250 ℃에서 1차 분해, 350 ℃ 부근에서 2차 분해하여 염화수소, 탄화수소(가스, 액상물), 고체(잔재물)를 생성한다. 대부분의 고분자 화합물은 250 ~ 450 ℃에서 분해가 완료된다.

2) 플라스틱 열분해 시 생성되는 물질

플라스틱의 열분해 시 생성되는 물질은 <표 VI-1> 및 <표 VI-2>와 같다. <표 VI-2>는 촉매를 이용한 공정과 촉매를 이용하지 않은 공정에서 생성되는 물질의 차이를 볼 수 있다. 대부분의 공정 모두 가스와 오일과 숯이 생성되는 것을 확인할 수 있으며 공정조건 및 공급원료에 따라 그 발생비율에 차이가 있다. 열분해 공정에서 생성되는 기체, 액체, 고체물질의 구성성분 및 위험성에 대한 세부 내용은 다음에 별도로 제시하였다.

1) 출처: 中農勝博, 林靜男, 喜田清則. 誘導加熱・熱分解技術を應用した廢棄物處理, 富士時報 Vol.73 No.7 2000



[그림 IV-1] 플라스틱 종류에 따른 열분해 온도와 질량 변화

[출처: 中農勝博, 林靜男, 喜田清則. 誘導加熱・熱分解技術を應用した廢棄物處理, 2000]

〈표 IV-1〉 플라스틱 열분해 시 생성되는 가스, 오일, 숯의 반응기별 비율

반응기 형식	분해온도 (°C)	승온속도 (°C/min)	공급원료	가스량 (wt%)	오일량 (wt%)	숯량 (wt%)
Micro	300	5~10	HDPE	36.25	30.70	33.05
	350			17.4	80.88	1.88
	400			45.29	54.17	0.54
Stirred batch	425	10	LDPE	10	85.9	~0.5
	450			25	72.4	1.75
	500			47	~37.5	15.5
Micro	300	5~10	PP	28.84	69.82	1.34
	350			30.00	67.74	1.56
	400			31.07	63.23	5.7
Stirred batch		10	PS		~97.0	
	450			~0.5	~80.0	19.6
	500			2.50	~67.0	30.4
Fixed bed	500	8	PET	57.72	37.16	8.12
		10		60.23	32.13	7.64
		12		63.03	30.33	6.61
Batch	225	-	PVC	44.35	0.45	54.77
	250	-		45.56	0.5	53.49
	260	-		46.16	1.55	51.25
	320	-		57.54	3.7	37.66
	360	-		58.23	5.0	36.17
	520	-		58.54	32.29	8.53
Stirred batch	420	5	50%plastics; 50% wood	12	54	22
Fixed bed	800	10	HDPE,PE,PET(1:1:1)	~51.5	~21	~27.5
	800	10	50% of plastics and 50% of paper	~54	~17.5	~28.5
Semi-batch	500	20	Waste plastics	25.6	40.9	28.5+ 5.3
			Simulated waste plastics	34.0	65.2	0.8
Quartz tube	500	10	HDPE and waste newspaper(1:1)	~29.5	~56.5	~14
			HDPE and waste newspaper(2:1)	~23.5	~68.5	~8
Fixed bed, two-stage	500	10	Plastics from waste cathode ray tubes, mainly HIPS	~9	~84	~7
			Plastics from waste cathode ray tubes, mainly ABS	~8	~82	~10

[출처: Czajczynska D. et al., Potential of pyrolysis processes in the waste management sector, Thermal Science and Engineering Progress 3 pp. 171-197, 2017.]

〈표 IV-2〉 무촉매 및 촉매 열분해 시 생성되는 오일, 가스, 숯(Char)의 비율

Plastic	Thermal Temp.(℃)	Time (min)	Oil(wax) (%)	Gas (%)	Char (%)	Catalyst	Temp. (℃)	Catalytic Oil(%)	Gas (%)	Char (%)
PS	450	75	80.8	13	6.2	Natural zeolite	450	54	12.8	32.8
		–				Synthetic zeolite	450	50	22.6	27.4
PS	330	–	80	–	–	Silica aluminum	290	50	–	–
LDPE	437~486	–	94	–	–	Zeolite	–	51	–	–
PP	378~456	–	86	–	–	Zeolite	–	58	–	–
PP	350	–	82.6	–	–	Silica aluminum	320	59.57	–	–
PP	450	30	67.48	8.85	23.67	Kaolin	450	69.75	14.01	16.24
HDPE	–	–	84	13	3	ZSM-5	–	35	63.5	1.5
HDPE	–	–	–	–	–	Mordenite	450	78.5	18.5	3
HDPE	–	–	–	–	–	Alumina	450	82	15.9	2.1
HDPE	430	–	75.5	20	4.5	FCC	–	79.7	19.4	0.9
HDPE	450	–	82	18	–	Silica/NaOH	450	81	19	0
HDPE	450	–	80	–	–	Silica aluminum	350	48.3	–	–
PP	540	–	61	31	7	Fe-SBA-15	540	73~77	24~21	2~0.8
PP	–	–	–	–	–	Calcium bentonite	500	88.5	–	–
LDPE	–	–	–	–	–	Calcium bentonite	500	82	–	–
HDPE	–	–	–	–	–	Calcium bentonite	500	82.5	–	–
LDPE	550	–	93.1	14.6	–	HZSM-5	550	18.3	70.7	0.5
HDPE	550	–	84.7	16.3	–	HUSY	550	41.0	39.5	1.9
LDPE	375	–	68	–	22	KAB/kaolin	295	84	–	<1
HDPE	430	2.5h	72.66	–	–	10% dolomite	430	80.73	–	–
LDPE	450	2.5h	73.91	–	–	10% dolomite	450	83.04	–	–
PP	400	1.5h	83.81	–	–	10% dolomite	400	85.2	–	–

[출처: Gebre S. H. et al., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, Chemistry Open 10, pp. 1202–1226, 2021.]

3) 열분해가스의 종류 및 위험성

플라스틱을 열분해 하면 <표 IV-3>과 같이 다양한 가스가 생성된다. 표에는 플라스틱의 종류에 따라 생성되는 기체의 중량 비율이 나타나 있다. 전반적으로 폴리올레핀 및 PS 플라스틱의 열분해 시 발생하는 가스의 양은 5~20wt% 범위로 낮으며 열분해에 사용되는 플라스틱의 온도, 촉매 및 유형에 따라 크게 달라진다. PET 및 PVC 플라스틱을 열분해 하면 PE, PP, PS 및 PC에 비해 많은 양의 가스를 생성하는 것으로 나타났다(Gebre 등, 2021). 가스 구성은 공급원료 재료, 반응기 및 작동 매개변수의 크기와 유형에 따라 다르게 나타난다.

HDPE, LDPE, PP 및 PS의 열분해 과정에서 발생한 가스의 조성은 주로 메탄(CH_4), 에틸렌(C_2H_4) 및 부타디엔(C_4H_6)과 같은 탄화수소 가스이며, 미량의 프로판($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$), 프로펜($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$), n-부탄($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$) 및 기타 탄화수소 함량이 높은 가스로 구성되어 있어(Gebre 등, 2021) 누출될 경우 화재·폭발 위험이 있다. PC, PET, PVC의 열분해 시에는 탄화수소 가스의 형성과 함께 CO_2 , CO, HCl과 같은 독성 가스를 생성하여 이들 가스가 누출될 경우 화재·폭발 및 질식·중독 등의 위험이 있다. 특히, PVC 열분해 시에 발생하는 염소가스는 금속 부식 및 기타 환경적으로 영향을 미칠 수 있다.

PE와 PP만을 열분해하여 얻은 가스는 (42~50) MJ/kg 사이의 높은 발열량을 보인다. 따라서 열분해가스는 산업 플랜트의 열원으로 사용될 가능성이 높다. 또한, 에틸렌 및 프로펜 가스는 다른 혼합 gas와 분리되는 경우 폴리올레핀을 제조하기 위한 화학 공급 원료로 사용될 수 있다. 그리고 가스는 추가 처리 없이 보일러에서 전기를 생성하고 직접 연소하기 위해 가스 터빈에서 사용할 수 있다. CO_2 및 CO는 PET의 분자 구조(C_{10})에 존재하는 산소로 인해 PET에서 생성된다. PET의 열분해 반응에 인한 CO_2 함량은 49.79%까지 높게 나타나기도 하였다(Gebre 등, 2021).

<표 IV-4>에는 폐플라스틱의 열분해 시 발생하는 가스의 인화점과 자연발화 온도를 나타냈다. 탄화수소 가스의 경우 자연발화점이 500 °C 보다 낮고, 부탄과 부텐은 400 °C보다 낮았다. 그리고 폭발 하한 범위는 메탄 5%, 일산화탄소

12.5%를 제외하고는 모두 3% 이하로 나타나 있다.

앞에 언급한 것처럼 페플라스틱을 열분해 할 때 열분해 반응기 내에서는 <표 IV-3>과 같은 가스가 지속적으로 발생하는데, 지금까지 개발된 열분해 기술은 대부분 300 ℃ 이상의 온도에서 작동된다. <표 VI-1, 2>의 반응온도를 보면 400 ℃ 이상에서 열분해를 진행한 것이 대부분임을 알 수 있다. 반응기 내부 온도를 400 ℃ 이상으로 유지하기 위해서는 반응기 표면의 온도는 그 이상이 될 수밖에 없다. 따라서 이와 같은 열분해 반응기의 온도 조건에서는 반응기에 공기나 산소가 유입되면 바로 폭발·화재로 이어질 수 있으므로 외부에서 공기가 유입되지 않는 구조로 설계하고, 잔재물 처리 시에는 반응기 내부를 질소 등의 불활성 가스로 치환하고 작업할 필요가 있다.

〈표 IV-3〉 폐플라스틱 열분해가스의 조성

구분	반응기 유형	H2 [wt%]	CH4 [wt%]	C2 H6 [wt%]	C2 H4 [wt%]	C3 H8 [wt%]	C3 H6 [wt%]	C4 H10 [wt%]	C4 H8 [wt%]	CO2 [wt%]	CO [wt%]	HCl [wt%]
HDPE	CSBR	0.00	0.14	0.05	0.62	0.9	7.19	0.87	4.82	—	—	—
HDPE	CSBR		0.03	0.07	0.08	0.08	0.50	0.18	0.57	—	—	—
LDPE	유동층	0.66	11.76	4.68	26.86	1.25	18.59	0.01	7.63	—	—	—
LDPE	—	0.02	0.03	0.00	0.003	0.003	0.65	1.76	—	2.90	0.00	—
LDPE	반회분식	0.15	3.63	9.35	4.16	12.27	18.65	8.31	1.32	—	—	—
PVC	고정층	40.4	32.5	11.2	4.6	4.0	2.4	1.7	1.0	0	0	58.22)
PVC	—	52.5	24.4	6.7	6.7	1.5	4.7	0.9	2.1	0	0	—
PP	—	0.01	0.04	0.11	0.05	0.1	2.73	0.23	1.29	0.64	0	—
PP	반회분식	0.09	2.01	4.24	0.90	7.36	29.06	0.23	1.48	—	—	—
PS	—	0.0	27.4	0.0	25.0	22.5	0.0	0.0	25.1	0.0	0.0	—
PS	—	45.4	28.3	1.3	23.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	—
PET	—	12.7	7.5	0.3	4.4	0.0	0.0	0.00	0.1	33.0	41.2	—
PET	—	6.7	1.2	0.1	3.3	0.0	0.2	0.0	0.1	49.79	37.8	—
PC	고정층	0.16	2.48	—	—	—	—	—	—	11.93	3.53	—
PC	고정층	0.27	2.94	—	—	—	—	—	—	13.91	2.72	—

[출처: Gebre H. S. et al., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, Chemistry Open 10, pp. 1202–1226, 2021.]

- 2) 출처: Czajczynska D. et al., Potential of pyrolysis in the waste management sector, Thermal Science and Engineering Progress Vol. 3. pp. 171–197. 2017, Ma, S. et al., Study of the low temperature pyrolysis of PVC, Energy Fuels 16, pp. 338–342. 2002

〈표 IV-4〉 폐플라스틱 열분해가스의 폭발범위 및 자연발화온도

구분	명칭	CAS No.	인화 또는 폭발범위 (상한/하한) (%)	자연발화 온도(℃)
H2	수소	1333-74-0	75/4	500-571
CH4	메탄(메테인)	74-82-8	15/5	537
C2 H6	에탄	74-84-0	12.5/3	472
C2 H4	에틸렌	74-85-1	36/2.7	490
C3 H8	프로판(프로페인)	74-98-6	9.5/2.1	450
C3 H6	프로필렌(프로펜)	115-07-1	10.3/2.4	460
C4 H10	뷰탄(뷰테인)	106-97-8	8.4/1.8	365
C4 H8	1-부텐	106-98-9	10/1.6	385
	2-부텐	107-01-7	9.7/1.8	323.9
CO2	이산화탄소	124-38-9	자료 없음	자료 없음
CO	일산화탄소	630-08-0	74.2/12.5	607
HCl	염화수소	7647-01-0	자료 없음	자료 없음

※ 자료출처: 안전보건공단 화학물질정보 (<https://msds.kosha.or.kr>)

4) 열분해유의 물리적 특성 및 위험성

(1) 문헌 분석 결과

〈표 IV-5〉에는 각각의 플라스틱을 열분해하여 얻은 열분해유의 물리적 특성을 나타내었다. 표는 각주에 표시한 것처럼 3개의 리뷰(Review)논문을 인용하여 작성하였다. 각각의 참고문헌에는 여러 물리적 특성을 제시하고 있지만, 표에는 유동점과 인화점만을 나타내었다.

물질의 인화점은 화재·폭발 예방을 위한 중요한 자료가 된다. 플라스틱 종류에 따른 열분해유의 인화점은 PS의 경우가 26.1~28 °C로 가장 낮은 값을 보였다. HDPE와 LDPE 열분해유의 인화점은 40~50 °C 사이의 범위인 것으로 나타났고, 모든 실험 결과에서 열분해유의 인화점이 60 °C 미만인 것으로 나타났다. 산업 안전보건법에서는 인화성액체의 기준을 표준압력 하에서 인화점이 60 °C이하인 물질로 규정하고 있기 때문에 열분해유의 인화점이 60 °C 이하가 되면 열분해유 생산량에 따라 공정안전보고서 또는 유해위험방지계획서의 작성 및 제출 대상이 될 수 있다.

유동점은 연료가 적은 상태에서도 굳지 않고 흐를 수 있는 최저 온도를 의미하는데, 유동점이 높으면 배관이나 탱크 내에서 열분해유가 고형화되면서 막힘 현상을 발생시킬 수 있다. 일부 연구에서 PP 열분해유의 유동점이 -9°C를 나타내는 것으로 보고하였다. 이 값은 일반적인 디젤의 유동점보다 더 낮은 것으로 나타나 국내에서는 겨울 이외에는 문제가 작을 것으로 판단된다.

물질에 의한 화재·폭발을 예방하기 위해서는 물질의 자연발화온도도 중요한 요인이라 할 수 있다. 자연발화는 공기 중의 물질이 화염, 불꽃 등의 점화원과 직접적인 접촉 없이 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화되는 현상을 말하며, 자연발화점은 자연발화 현상이 일어날 수 있는 최저 온도를 말한다. 일반적으로 자연발화의 발생 메커니즘은 열발화 이론에서 출발하며, 물질의 온도를 상승시키는 열원의 종류에 따라서 자연발화(spontaneous ignition), 자동발화(auto ignition), 자기발화(pyrophoric ignition)로 구분되기는 하나,

일반적으로 화재 폭발 특성과 관련되어 MSDS등에 기재되는 자연발화점은 외부에서 열원을 공급하면서 측정되는 물질의 최저발화온도를 의미한다³⁾(이근원 등, 2016). 열분해유의 자연발화점 이상에서 설비가 운전될 경우 공정에 공기가 유입되면 화재나 폭발이 발생할 수 있다.

페플라스틱 열분해유 연구와 관련된 대부분의 문헌에서 인화점에 대해 언급하고 있지만 열분해유의 자연발화점에 대한 자료는 찾아보기 어렵다. 국내 모기업의 MSDS를 참고하면 경유(CAS No. 68334-30-5)의 인화점은 70 ℃, 자연발화점은 177 ℃⁴⁾, 등유(CAS No. 8008-20-6)의 인화점은 38℃ 이상, 자연발화점은 220 ℃⁵⁾로 나타나 있다. 페플라스틱 열분해유의 성질도 대부분 등유나 경유와 비슷한 것으로 보고되고 있기 때문에 이와 유사한 수준일 것으로 판단되지만 실제로 시험을 통해 확인해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 이 시험결과와 설명은 다음에 별도로 제시하였다.

3) 기본적으로 자연발화는 물질내부의 발열속도가 물질외부로 방열속도를 추월하여 물질 내부에 축적된 에너지가 해당물질의 산화반응(발화반응)을 위한 활성화에너지를 초과하는 경우 발생된다. 내부 발열의 메커니즘에 따라서 자연발화(Spontaneous ignition: 상온에서 물질내부에 열이 축적되어 발화), 자동발화(Auto ignition: 착화원 없이 물질을 가열하면서 열이 축적되어 발화), 자기발화(Pyrophoric ignition: 자기반응성 물질이 공기중 수분이나 산소와 반응한 후 그 반응열에 의해서 열이 축적되어 발화)로 구분된다.

4) GS칼텍스. 물질안전보건자료(AA03534-0000000115), 2021.12.20. 개정본

5) GS칼텍스. 물질안전보건자료(AA03534-0000000068), 2021.09.30. 개정본

〈표 IV-5〉 폐플라스틱 종류에 따른 열분해유의 유동점 및 인화점

물성(단위)	물질명	측정값*	측정값**	측정값***
Pour point (°C)	HDPE	-15	-	-15
	PP	-9, < -45	-	-39
	PS	-67	-	-67
	Conventional diesel	6	-	-6
Flash point (°C)	HDPE	48	40~48	48
	LDPE	41	50	41
	PP	30	31~36	30
	PVC	40	-	40
	PS	26.1	28	26.1
	Conventional diesel	52	-	52

[출처: * Miandad et al., Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review, 2016.

** Eze W. U. et al., Plastics waste management: A review of pyrolysis technology, 2021.

*** Gebre S. H. et. al., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, 2021.]

(2) 시험 결과

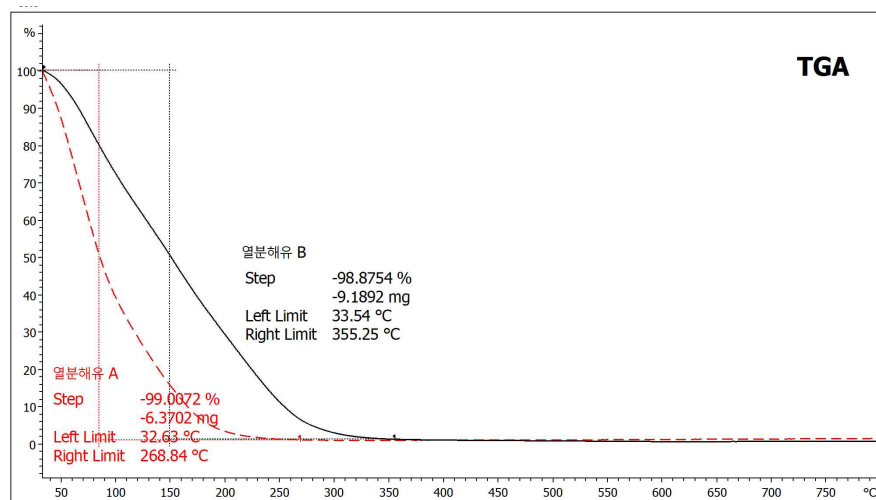
사업장에서 제공받은 열분해유 시료의 인화점, 자연발화점, 끓는점 등을 측정하고 그 결과를 〈표 IV-6〉에 나타내었다. 시료의 자연발화점은 250℃ 이하로 나타났고, 끓는점은 181℃ 이하로 나타났다. 인화점은 최대 80~90℃에서 최저 영하 10℃ 이하 것까지 다양한 분포를 나타내었다. 이러한 시험결과를 보면 열분해유가 고온의 표면이나 물질에 접촉되지 않도록 유의할 필요가 있으며, 열분해 설비 내부에 산소가 유입되지 않도록 해야 할 것으로 판단된다. 또한, [그림 IV-2]의 열분해유 열분석(TGA) 결과를 보면 온도가 높아질수록 대부분의 물질이 기화됨을 알 수 있다. 따라서 저장 설비 등에서 열분해유가 누출될 경우 기화되면서 화재로 이어질 수 있는 가능성이 매우 높다고 볼수 있다.

〈표 IV-6〉 열분해유의 화재폭발 및 물리적 특성 시험 결과

시료번호 (사용원료)	반응기종류	인화점 범위	자연발화점	열분석결과 (TGA)	끓는점
A (생활폐기물)	회분식	-10 °C 이하	245 °C	(33~269) °C -99 %, air	140~147 °C
B (생활폐기물)	회분식	30 °C 이하	242 °C	(34~355) °C -99 %, air	163~181 °C
C* (생활폐기물)	회분식	80~90 °C	측정불가	(31~350) °C -97 %, air	미측정
D* (생활폐기물)	회분식	10 °C 이하	230~250 °C	(36~269) °C -96 %, air	140~160 °C

* C, D는 화재 또는 폭발사고 발생사업장에서 수거한 시료를 시험한 결과임

※ 반응기에 투입되는 페플라스틱의 구성성분 및 비율이 매회 달라지므로 위 시험결과는 해당 사업장에서 생산하는 열분해유의 일반적인 값으로 볼 수 없으며, 시험에 사용된 시료에 대해서만 적용됨



[그림 IV-2] 시료 A, B의 열분석(TGA) 시험 결과

5) 왁스(Wax)의 위험성

고밀도폴리에틸렌(HDPE), 저밀도폴리에틸렌(LDPE), 선형저밀도폴리에틸렌(LLDPE), 폴리프로필렌(PP) 등과 같은 폴리올레핀계 플라스틱을 열분해하여 발생하는 물질 중 탄소수가 큰 성분으로 구성된 물질이 냉각되면 페이스트(paste) 상태의 왁스(wax)가 생성된다(신대현 등, 2010; Arabiourrutia 등 2012). 열분해 시 발생하는 왁스는 생성유의 품질을 저하시키는 주요 원인이 될 수 있다. 열분해유에 다량의 왁스가 함유되면 상분리로 인하여 보관의 어려움이 있고, 연소기관에 이용할 경우 노즐의 막힘 등을 일으켜 연료유로서의 활용성이 낮아진다. 그리고 설비 배관을 청소하지 않고 지속적으로 가동시키는 경우 배관에 침착된 왁스가 굳고 점차 두꺼워져 전체적인 설비의 압력을 증가시키는 현상을 초래하게 된다. 심한 경우에는 배관이 막힐 수 있고, 열교환기(condenser)가 제 역할을 하지 못하게 되어 가동 중 폭발의 위험이 있다(서울시립대학교, 2010; 에코크레이션, 2022).

일부 사업장에서는 왁스의 생성을 억제하기 위해 열분해 반응기 후단에 촉매를 이용하는 접촉분해 반응기를 두기도 한다. 그러나 촉매층은 열분해 반응 중에 생성되는 탄소성분들에 의해 활성이 쉽게 떨어지는 문제가 있기 때문에 촉매 반응기를 쓰지 않고 왁스와 같이 비점이 높은 성분을 분리하여 열분해 반응기로 재순환하는 공정을 이용하기도 한다(서울시립대학교, 2010).

6) 코킹(Coking)의 위험성

코킹(coking)은 열분해된 탄화수소가 가열된 철이나 니켈이 함유된 반응기 내벽에 접촉해 수소가 분리되고 탄소입자가 반응기 내벽에 침착되면서 코크층이 형성되는 현상이다. 코킹현상이 발생하면 지속적으로 코크층의 두께가 두꺼워지면서 반응기 파열의 원인이 되기도 한다(김영민 등, 2006; 고대신문, 2007).

페플라스틱을 원료로 하는 열분해 반응기의 운전 온도는 통상 350 ~ 450 °C 사이로, 이 온도에서는 사실상 심각할 정도로 코크가 생성되지 않는 것으로 알려져 있으나 반응기 벽의 온도는 이보다 통상 100 °C 이상 높은 온도로 유지되므로 실제로 열원이 공급되는 고온 부분(hot spot)을 중심으로 상당량의 코크층이 형성된다(고대신문, 2007).

일단 코크층이 형성되면 열전달 저항이 증가하여 열전달 효율이 떨어진다. 따라서 동일한 양의 열량을 반응기 내부로 전달하기 위해서는 더 높은 온도의 열원을 공급해야 하므로 연료 소모량이 많아진다. 또한 코크 생성량은 잔재물 증가로 이어지고 이는 곧 열분해유의 회수율 저하를 가져온다. 코킹을 제어하기 위해서는 반응기 기벽의 온도를 지나치게 상승시키지 않으면서 분해반응에 필요한 열량을 공급할 수 있도록 설비를 구성하는 것이 우선 중요하다(신대현 등, 2006). 또한 초기의 코킹 성장 메커니즘을 지연시킬 수 있는 소재로 반응기를 제작하거나 소량의 코크 억제제(coking inhibitor)를 첨가하거나, 반응기 내의 유체흐름 형태를 난류로 유지하거나 생성된 코크를 연속적으로 제거하는 장치 구조를 갖도록 하는 등의 방법이 유효한 방법으로 보고되고 있다(고대신문, 2007).

7) 열분해 잔재물의 화재·폭발 위험성

반응 완료 후 생성된 고형 물질은 대부분 탄소 함유량이 높기 때문에 분진폭발 위험성이 높다. 따라서 열분해 완료 후 수거한 잔재물 1종에 대한 분진폭발 특성 시험을 수행하였다. 사업장에서 채취한 시료는 [그림 IV-3]의 왼쪽 그림과 같이 많은 이물질이 섞여 있기 때문에 600 μ m의 체로 거른 시료에 대해 최소점화에너지 시험과 분진폭발 가능여부에 대한 시험을 수행하였다.

분진폭발 가능여부에 대한 시험은 500 g/m³의 농도로 열분해 잔재물을 20L의 구형 시험장치(Kühner社, Siwek 20-L)에 부유시킨 상태에서 10kJ의 점화 에너지를 가했을 때 폭발이 발생하는지 여부를 확인하였다. 분진폭발 시험결과는 [그림 IV-4]과 같이 약 670 kPa(6.7 bar)의 폭발 압력이 발생하는 것으로 나타났다. 이 값은 분진폭발 여부 판단기준인 20 kPa보다 높은 값으로 분진폭발이 발생할 수 있음을 의미한다. 참고로 [그림 IV-5]에는 열분해 잔재물 분진의 폭발로 인해 화학점화기의 전선 피복이 탄화된 사진을 나타내었다.

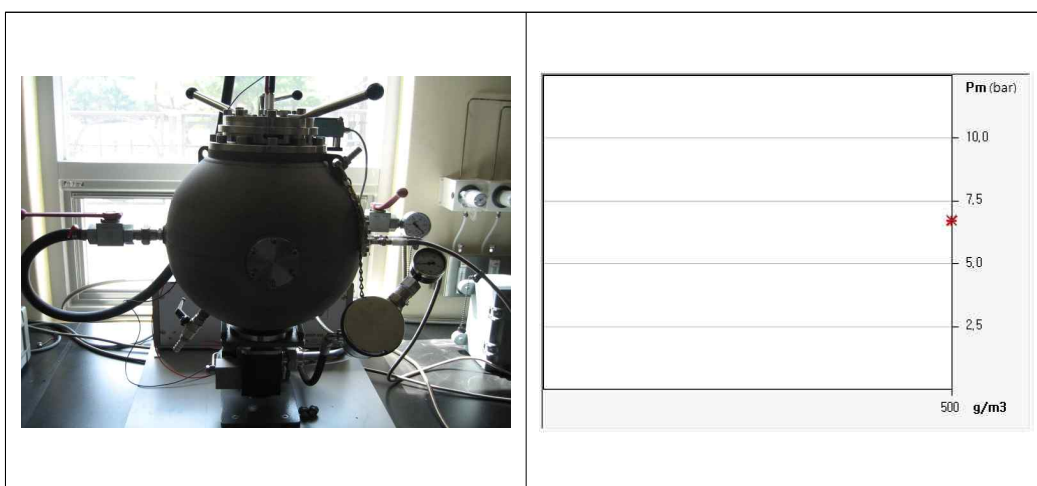
위의 분진폭발시험에서 열분해 잔재물의 분진폭발 가능성이 있음을 확인한 후 최소점화에너지 측정장비(Kühner社, MIKE 3) 최소점화에너지 측정시험을 수행하였지만 보유한 장비의 시험범위(최대 1J)에서는 최소점화에너지를 측정할 수 없었다[그림 IV-6]. 그렇지만 열분해 잔재물은 분진폭발 가능성이 있음이 시험을 통해 확인되었으므로, 열분해 반응기 내부의 잔재물을 제거할 때에는 잔존해 있는 열분해가스 뿐만아니라 열분해 잔재물의 분진폭발에도 유의할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

참고로, 페플라스틱 열분해 잔재물과 구성 성분이 유사한 석탄과 같은 경우 공기 중에 노출될 경우, 산화가 되면서 발생하는 산화열에 의해 자연발화되면서 화재로 이어지는 사례가 있다. 따라서 페플라스틱 열분해 잔재물의 저장, 운반, 취급 등의 작업 중 안전성을 확보하기 위하여 잔재물의 자연발화 특성, 최대폭발 압력, 최소점화에너지 등에 대한 추가 실험 및 위험성 분석과 관련하여 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 IV-3] 열분해 잔재물 사진

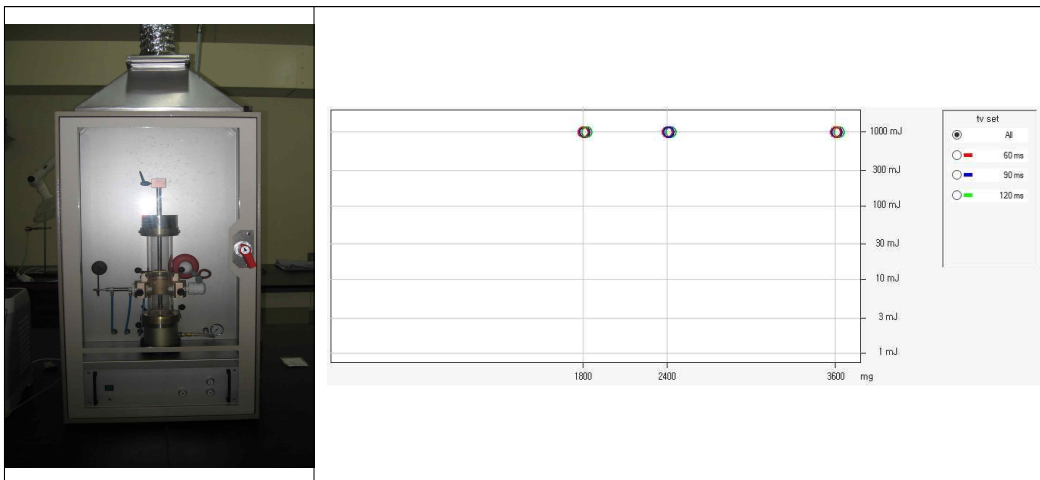
(좌: 체질 후 남은 잔재물, 우: 체(600 μ m)로 거른 잔재물)



[그림 IV-4] 분진폭발시험장치(좌) 및 시험결과(우) (시험농도 500 g/m^3)



[그림 IV-5] 분진폭발 시험 후 화학증착기 전선의 탄화 상태



[그림 IV-6] 최소점화에너지 측정장치(좌) 및 시험결과(우)

2. 열분해 공정 및 설비의 위험 요인

페플라스틱 열분해 공정은 페플라스틱 투입, 열분해 반응, 정제, 응축, 증류, 가스소각 등으로 구성되며, 공정의 주요 설비에는 열분해로, 응축기, 가열기, 폐가스 소각시설, 유수분리기, 저장탱크 등이 있다. 페플라스틱 열분해 공정은 계속 새로운 기술이 개발되고 있기 때문에 아직 표준화되어 있지 않다.

국내에서는 일부 사업장을 제외하고 대부분의 사업장에서 로터리 킬른식 회분식 반응기를 이용하여 열분해를 수행하고 있다. 페플라스틱 열분해 공정에서 발생한 사고도 대부분 로터리 킬른을 이용한 회분식 반응기를 이용하는 사업장에서 발생한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 이용되고 있는 회분식 반응기를 이용하는 열분해 공정 및 설비에 대한 위험성을 분석하고 그 결과를 제시하였다. 사고분석 결과, 사업장 방문 면접, 기타 관련 문헌을 기반으로 찾은 페플라스틱 열분해 공정의 위험요인은 <표 IV-7>과 같이 정리할 수 있다.

<표 IV-7> 페플라스틱 열분해 공정 및 설비의 위험요인

공정명 (관련 설비)	위험요인
(1) 폐합성수지 투입 (작업장 통로 및 지게차)	(가) 지게차 또는 프론트로더를 이용하여 폐합성수지를 열분해 반응기에 투입하는 경우 주변 작업자와 충돌할 위험이 있다. (나) 열분해 반응기 내부에 잔류한 인화성 가스를 제거하지 않은 상태에서 열분해 반응기 투입구를 개방하는 경우 인화성 가스의 누출로 인한 화재·폭발 위험이 있다. (다) 투입 원료에 의도하지 않은 이물질이 포함되는 경우 이상 반응에 의한 과압 발생으로 인화성 물질이 누출되어 화재·폭발이 발생할 위험 또는 독성물질 생성으로 인한 중독 및 환경오염의 위험이 있다.
(2) 가열기 점화	(가) 밸브 오조작 등으로 가열기 내부에 연료용 가스 또는 열분해

공정명 (관련 설비)	위험요인
및 가열 (가열기)	가스가 체류된 상태에서 가열기를 점화하는 경우 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다. (나) 열분해가스의 질적 또는 양적 변동에 의해 연소가 중단되어 불꽃이 꺼진 상태에서 열분해가스가 계속 공급되는 경우, 가열기 내부에 인화성 가스가 체류할 수 있으며 이때 불씨가 유입되면 폭발이 발생할 위험이 있다. (다) 화염방지기가 설치되지 않은 경우 연료용 가스 또는 열분해가스 화염의 역화에 의한 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다. (라) 가열기의 고온부에 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.
(3) 열분해 (열분해 반응기)	(가) 열분해 반응기 작동 중 발생하는 열분해가스 및 증기 배출 배관의 회전 연결부 틈새, 원료 투입구 틈새 등에서 열분해가스 누출로 인한 화재·폭발 위험이 있다. (나) 열분해가스 및 증기 배출구와 배관 내부에 열분해 잔재물(cokes 등), 유기물, 이물질 등의 적층 또는 왁스의 응고로 배관이 막히거나 열분해가스 이송로가 좁아지는 경우 반응기 및 배관 등의 내부 압력 상승에 따른 폭발 위험 및 열분해가스 누출로 인한 화재·폭발 위험이 있다. (다) 열분해 반응 중 또는 열분해 종료 후 열분해 반응기 내부 온도가 높은 상태에서 열분해 반응기 내부로 공기(산소)가 유입되는 경우 반응기 내부의 열분해가스가 폭발할 위험이 있다. (라) 열분해가스 및 증기배출 밸브가 잠겨 있을 경우 열분해 반응기 내부 압력 상승에 따른 폭발 위험이 있다. (마) 열분해 반응기 내부 온도가 제어되지 않을 경우 과열에 따른 화재 또는 폭발 위험이 있다. (바) 압력계 도압관이 왁스, 열분해 잔재물, 이물질 등으로 막히는 경우 열분해 반응기 내부 압력 측정 실패로 인한 폭발 위험이 있다. (사) 열분해 반응기가 지속적으로 고온에 노출됨에 따라 용접부, 볼트 연결부 등 취약부분의 열화, 열변형, 기계적 강도 감소

공정명 (관련 설비)	위험요인
	등에 따른 위험이 발생할 수 있다. (아) 볼트 등의 부품을 임의로 제작 또는 교체할 경우 강도 미달로 인한 열분해가스 누출 및 폭발 위험이 있다. (자) 열분해 반응기 및 주변 설비의 고온부에 작업자의 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.
(4) 열분해유 저장 및 출하 (저장설비)	(가) 열분해유 저장설비에서 열분해유가 누출되는 경우 작업장 전체로 열분해유가 확산되어 화재가 발생할 위험이 있다. (나) 외부 화재 발생 시 저장탱크의 통기밸브 등으로 화염이 전파될 위험이 있다. (다) 탱크로리 연결 및 열분해유 이송 시 정전기로 인한 화재·폭발 위험이 있다.
(5) 가스 소각 (소각설비)	(가) 밸브 오조작 등으로 소각설비 내부에 보조연료로 사용하는 가스 또는 열분해가스가 체류한 상태에서 소각설비를 점화하는 경우 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다. (나) 열분해가스의 질적 또는 양적 변동에 의해 연소가 중단되어 불꽃이 꺼진 상태에서 열분해가스가 계속 공급되는 경우, 소각설비 내부에 인화성 가스가 체류한 상태가 되며, 이때 불씨가 유입되면 폭발이 발생할 위험이 있다. (다) 소각설비에 있는 소각용 열분해가스 배출 밸브가 닫힌 상태, 화염방지기에 막힘이 발생한 상태 등에서 열분해를 진행하는 경우 열분해가스가 역류하여 열분해 공정 압력이 증가하거나 가스가 누출되어 화재·폭발이 발생할 위험이 있다. (라) 공기 또는 산소의 압력으로 소각용 열분해가스 또는 연소용 가스가 역류하는 경우 열분해가스 또는 연소용 가스의 역화에 의한 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다. (마) 폐가스 소각설비로 액상(미스트 등)의 가연성 물질이 유입되는 경우 이상 연소에 의한 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다. (바) 소각설비의 고온부에 작업자의 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.

공정명 (관련 설비)	위험요인
(6) 잔재물 제거 (열분해 반응기)	(가) 열분해 반응기가 충분히 냉각되지 않은 상태에서 폐합성수지 투입구를 개방하는 경우 투입구를 통한 산소(공기) 공급으로 인해 내부 인화성 가스가 폭발하거나 화재가 발생할 위험이 있다. (나) 열분해 반응기 내부의 인화성 가스를 충분히 배출하지 않고 투입구를 개방하는 경우 잔존해 있는 열분해가스로 인한 화재·폭발 위험이 있다. (다) 열분해 반응기 내부에 코크스 등의 잔재물 분진이 부유된 상태에서 작업하는 경우 분진폭발 위험이 있다. (라) 열분해 반응기 내부의 잔재물 또는 이물질 제거를 위해 사용하는 공구나 기기에 의해 불꽃이 발생할 경우 잔존해 있는 열분해가스 또는 인화성물질에 화재가 발생할 위험이 있다. (마) 열분해 반응기 내부를 충분히 환기시키지 않은 상태에서 작업하는 경우 열분해가스에 포함된 일산화탄소에 의해 중독될 위험이 있다. (바) 열분해 반응기 및 주변 설비의 고온부에 작업자의 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다. (사) 열분해 반응기의 잔재물 제거 시 분진입자가 작업자의 폐에 축적되어 건강에 영향을 미칠 수 있다.
(7) 열분해 잔재물 저장 (저장 설비)	(가) 열분해 잔재물 저장설비에 탄화물을 장시간 저장할 경우 자기 발열에 의해 발화하여 화재가 발생할 수 있다. (나) 열분해 잔재물 분진이 사업장에 부유될 경우 분진폭발 위험이 있다.

V. 폐플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안



V. 폐플라스틱 열분해 공정의 안전관리 방안

1. 법적 안전관리 방안

1) 폐기물관리법

2022년 3월 4일 열분해를 통한 폐합성수지 재활용 기반을 마련하기 위해 폐기물관리법 시행규칙을 입법예고하였으나, 최종 개정안이 2022년 11월 현재 공포되지 않았다. 폐기물관리법 시행규칙의 개정(안)에 따른 열분해 설비의 설치 및 검사기준을 살펴보면 앞에 언급한 설비의 위험요인 중 일부 위험요인을 줄이거나 예방하기 위한 내용이 검사기준에 포함되어 있지 않다. 따라서 이에 대해 다음과 같은 보완이 필요할 것으로 보인다. 그리고 “폐기물처리시설의 세부 검사방법에 관한 규정”에도 구체적인 기준 제시가 필요할 것으로 판단된다.

- (1) 열분해 반응기가 지속적으로 고온에 노출됨에 따라 주요 구조부, 용접부, 볼트연결부 등 취약부분의 열화, 열변형, 기계적 강도 감소 등에 따른 위험이 발생할 수 있다. 이와 관련하여 폐기물관리법 시행규칙 개정안의 열분해시설의 설치기준에 “폐기물 투입구 및 청소구를 고온에 견딜 수 있는 재질로 만들어야 한다”고 되어있으나 지속적으로 가열과 냉각이 수반되는 열분해 반응기의 주요 구조부 및 부품으로 사용되는 재료의 적절성 여부 확인에 대한 내용이 없으므로 이를 확인할 수 있는 항목이 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 열분해가스 또는 유증기가 누출되었으나 이를 인지하지 못하여 화재나 폭발이 발행하는 사고가 여러 건 발생하였다. 이와 관련하여 열분해 시설의 설치검사 시 열분해가스 누출에 대비하기 위한 방안 중 하나로 열분해가스 및 인화성 가스가 누출될 가능성이 있는 장소를 폭발위험지역으로 설정하고 인화성가스 검지 및 경보장치를 설치하도록 하는 규정을 추가할

필요가 있을 것으로 판단된다.

- (3) 페플라스틱 열분해와 관련된 사고의 관리적 원인 중 하나로 작업계획 및 작업절차서 작성 미흡이 있는데, 열분해시설을 처음 설치하는 사업장은 이러한 서류 작성이 더 미흡할 것으로 판단된다. 따라서 열분해시설에 대한 설치검사 시 이러한 작업절차서 등을 확인할 수 있는 항목을 추가하여 사업장에서 작업에 필요한 최소한의 서류를 갖추고 작업하도록 하는 방안을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2) 산업안전보건법

(1) 물질안전보건자료(MSDS)

페플라스틱 열분해 사업장의 사업주는 산업안전보건법에 따라 열분해유에 대한 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)를 작성하고 열분해유를 제공받는 사업자에게 제공하여야 한다. 또한 작업장 내 열분해유를 취급하는 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 MSDS를 게시하거나 갖추어 두고 교육할 필요가 있다. 그러나 대부분의 페플라스틱 열분해 사업장은 근로자수가 20인 미만인 소규모 사업장이기 때문에 MSDS 작성을 위한 정보와 자료가 부족하고 이 사항을 충분히 인지하지 못하고 있을 것으로 판단된다. 따라서 환경부와 고용노동부 및 안전보건공단에서는 페플라스틱 열분해유 및 열분해 시 생성되는 물질의 MSDS 작성을 지원하는 방안을 고민할 필요가 있다. 또한 이와 같은 법적인 사항을 사업장에 홍보 및 교육하여 사업장 자체적으로 안전을 확보할 수 있도록 지원하는 방안을 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다.

(2) 공정안전보고서 작성 및 제출

페플라스틱 열분해 사업장에서 하루 5,000 kg 이상의 열분해유를 생산할 수 있는 설비를 보유하면 산업안전보건법 제44조에 따른 공정안전보고서의 작성

및 제출 대상이 될 수 있다. 그러나 국내 폐플라스틱 열분해 사업장은 대부분 근로자수가 20인 미만인 소규모이기 때문에 안전에 무관심하거나 산업안전보건법의 존재 자체를 모르는 경우도 있다. 한국순환자원유통지원센터에 등록된 17개의 폐플라스틱 열분해 관련 회원사 중에서 2021년에 4개사가 신규로 가입한 것으로 나타났는데 신규 사업장은 위와 같은 법적인 사항을 더 모를 수 있다. 앞으로 폐플라스틱 열분해 사업장 수가 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 상황에서 새롭게 폐플라스틱 열분해 사업을 시작하는 사업장이 법적인 사항을 몰라서 공정안전보고서를 작성 및 제출하지 않는 경우가 발생하지 않도록 안전보건공단과 한국순환자원유통지원센터가 협력할 필요가 있을 것으로 판단된다. 한국순환자원유통지원센터에서 안전보건공단에 신규 열분해 사업장 정보를 제공하고, 안전보건공단에서는 해당 업체에 법적 및 기술적인 사항을 지원하는 방안을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

한편으로는 폐기물관리법 개정에 따라 열분해 설비에 대한 설치검사와 정기검사가 시행될 경우 사업장에서는 공정안전보고서 심사 및 확인도 같이 받아야 하는 경우가 발생할 수 있으므로 폐기물관리법과 산업안전보건법의 개정을 통해 검사 및 심사의 일정부분을 상호인정하거나 면제하는 방안을 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

(3) 유해위험방지계획서 작성 및 제출

폐플라스틱 열분해 사업장은 업종 기준으로는 유해·위험방지계획서 작성 및 제출 대상에 해당되지 않을 수 있다. 그러나 폐플라스틱 열분해설비는 여러 사항을 검토해 보았을 때 특수화학설비로 볼 수 있는 여지가 있어 유해·위험방지계획서 작성 및 제출 대상이 될 수 있다. 그러나 이와 관련된 명확한 사례 또는 기준이 제시되어 있지 않기 때문에 산업안전보건법에 따라 폐플라스틱 열분해 설비의 유해·위험방지계획서 작성 및 제출 대상인지 여부를 명확하게 할 필요가 있다.

폐플라스틱 열분해 설비가 유해·위험방지계획서 작성 및 제출 대상에 해당되는 경우에는 폐기물 관리법에 따른 설치검사와 중복될 수 있다. 이 경우에는

환경부와 고용노동부에서 협의를 통해 중복 규제를 해소할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있는 것으로 판단된다. 예를 들어, 산업안전보건법에 따른 유해·위험방지계획서 관련 내용을 폐기물관리법에 따른 열분해설비 설치검사 기준 및 정기검사 기준에 추가로 반영하여 산업안전보건법에 따른 유해·위험방지계획서를 대체하도록 할 필요가 있다.

(4) 안전인증 및 안전검사 대상 여부 검토

열분해 공정에 사용되는 열교환기, 증류탑, 저장탱크는 특별한 경우를 제외하고는 대부분 0.2 MPa 미만에서 작동되고 있다. 이 경우 산업안전보건법에 따른 안전검사 대상 압력용기에 해당되지 않을 수 있지만, 설계압이 0.2 MPa 이상인 경우 안전인증 대상에 포함될 수 있다. 따라서 열분해 설비 제조업체를 대상으로 열교환기, 증류탑 등을 납품하기 전에 안전인증을 받도록 홍보할 필요가 있고, 해당 설비 사용 사업장에서는 안전인증을 받은 제품인지 확인하고 설치 및 사용하도록 홍보할 필요가 있을 것으로 보인다.

(5) 산업안전보건기준에 관한 규칙

페플라스틱 열분해설비는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2장 폭발·화재 및 위험누출에 의한 위험방지와 관련하여 제1절 위험물 등의 취급, 제2절 화기 등의 관리, 제4절 화학설비·압력용기 부분의 각 조항에 대해 적용받는다. 따라서 고용노동부와 안전보건공단에서는 사업주가 이 규정에 따라 설비를 설계, 제작, 설치하고 운영하도록 홍보와 교육을 강화할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3) 위험물안전관리법

대부분의 페플라스틱 열분해 사업장은 위험물안전관리법 적용 대상이 되는 것으로 파악되었다. 사업주는 위험물안전관리법에 따라 열분해유 생산 및 저장 설비에 대한 안전을 확보할 의무가 있다. 따라서 사업주가 열분해설비를

설치하기 전에 법적 의무사항을 인지하여 기준에 적합하게 설치할 수 있도록 소방청, 환경부, 고용노동부 등이 협력하여 공동 대응하는 방안을 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4) 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률

폐기물관리법에 따른 열분해유가 화학물질등록평가법에서 정하는 화학물질의 등록 대상에 포함되면, 사업주는 화학물질 등록을 위한 자료를 환경부장관에게 제출하여 등록하여야 하는 의무가 발생할 수 있다. 그러나 열분해유는 투입되는 폐플라스틱의 종류와 그 비율에 따라 구성성분과 물리·화학적 특성이 매번 달라질 수 있다. 따라서 화학물질등록평가법 제3조(적용범위)의 적용제외 대상에 폐기물관리법에 따른 열분해유를 포함시킬지 여부를 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2. 공정 및 설비 안전관리 방안

페플라스틱 열분해 공정에서의 사고를 예방하기 위해서는 열분해가스 누출, 반응기 내부의 산소농도, 온도, 압력 등에 주의를 기울여야 한다. 산업안전보건법에 따른 안전기준, 사고원인분석으로부터 찾은 예방대책, 안전보건기술 지침에 따른 관련 내용을 반영한 페플라스틱 열분해 공정 및 설비의 안전관리 방안은 다음과 같이 정리할 수 있다.

참고로, 안전관리방안에서 반응기에 과압이 발생할 경우 압력을 방출하기 위한 안전밸브 또는 파열판을 설치하도록 방안을 제시하였다. 그러나 로터리 킬른식 반응기는 반응기가 계속 회전하기 때문에 반응기 자체에 안전밸브를 설치할 경우 안전밸브와 연결된 배관이 탄화물이나 플라스틱 이물질로 막혀 위험상황에서 안전밸브가 정상적으로 작동되지 않을 위험이 있다. 그렇다고 반응기와 연결된 가스 토출 배관에 연결하면 배관이 막히는 경우에 반응기에 과압이 발생해도 안전밸브가 정상적으로 작동하지 않는 문제가 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 별도의 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

1) 공통사항

- (1) 전체 생산 공정이 완전히 밀봉되고 가스 누출이 없는지 확인하기 위해 설비 가동 전 기밀테스트를 수행하여야 한다.
- (2) 전체 시스템의 정상적인 작동 압력 및 온도가 보장되도록 하며, 압력 및 온도를 지속적으로 관찰하고 제어할 수 있는 시스템을 구비하여야 한다.
- (3) 인화성 가스 누출 가능성이 있는 지역에 가스 검지기 및 경보장치를 설치하여야 한다.
- (4) 화재감지시스템, 자동소화장치와 소화기를 설치하고, 정상 작동여부를 확인한다.

- (5) 가스 역류방지장치를 설치하여 열분해가스가 역류하는 것을 방지한다.
- (6) 화염방지기를 설치할 때에는 물질특성을 고려하여 적절한 형식을 선정한다.
- (7) 가열기, 열분해 반응기, 소각로 등 인화성 가스의 누출로 인한 폭발 위험성이 큰 설비에 대해서는 가스 누출 가능 지역을 폭발위험지역으로 설정하고, 전기설비를 해당 가스에 대해 방폭성능을 가진 구조로 하여야 한다.
- (8) 유해가스나 분진 등의 유해물질을 취급하고 있는 공정 및 설비는 유해물질의 가스·증기 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치하여야 한다.

2) 공정 및 설비별 안전대책

(1) 폐합성수지 투입 (작업장 통로 및 지게차)

- (가) 작업장의 통로 구분 등을 통해 안전통로를 확보하여야 한다.
- (나) 지게차 운전자가 시야를 확보할 수 있도록 과적을 금지하여야 한다.
- (다) 지게차에 경보장치를 설치하여야 한다.
- (라) 지게차가 급선회를 하지 않도록 한다.
- (마) 지게차를 제한된 속도로 운전하여야 한다.
- (바) 열분해 반응기의 투입구 개방 전 내부의 인화성 가스를 제거하여야 한다.
- (사) 원료 투입 전 이상반응 또는 독성물질을 생성할 수 있는 이물질의 포함 여부를 확인하고, 발견 시 제거 등의 조치를 하여야 한다.

(2) 가열기 점화 및 가열 (가열기)

- (가) 가열기(장치)는 불연성 재료를 사용하고, 최대운전 온도에서의 열팽창에 의한 응력을 충분히 견딜 수 있도록 설계·제작되어야 한다.

- (나) 화염검지기를 설치하여 화염의 유무를 검출하고, 연료를 연소시키는데 필요한 화염이 감지되지 않을 경우 가스 공급을 자동으로 차단하는 장치를 설치하여야 한다. 그리고 화염검지기 검출부 오손, 소손 등의 유무 및 검출기능을 주기적으로 점검하여야 한다.
- (다) 열분해 반응기 내의 온도이상 상승, 전기공급 중단, 불꽃감지기 (Flame Detector) 미작동, 배기팬 또는 순환팬의 고장 등 이상상황 발생 시 자동으로 보조연료의 공급을 차단할 수 있는 긴급차단밸브를 설치하여야 한다. 긴급차단밸브는 가능한 버너와 가까운 곳에 설치하여야 한다.
- (라) 가열기 내부의 온도가 국부적으로 상승하지 아니하는 구조로 설치한다.
- (마) 가스를 연료로 사용하는 경우 가스 화염의 역화를 방지하기 위한 화염방지기를 설치하여야 한다.
- (바) 가열기에는 각 버너 마다 연료의 연소상태를 확인할 수 있도록 관찰구 등을 설치하여야 한다.
- (사) 가열기의 감시창 및 배기구 등과 같은 개구부는 발화 시에 불이 다른 곳으로 번지지 아니하는 위치에 설치하고 필요한 경우에는 즉시 밀폐할 수 있는 구조로 하여야 한다.
- (아) 가스를 열고 가열기를 점화하기 전에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 연소실 등 가열기 내부를 충분히 환기시켜야 한다.
- (자) 점화에 실패한 경우 연료 공급을 차단하고, 환기 후 다시 점화하여야 한다.
- (차) 정기적으로 연료차단밸브의 기능, 누설 및 이물질 유무를 점검하고 청소하여야 한다.
- (카) 가열기 버너를 주기적으로 청소하여야 한다.

(3) 열분해 (열분해 반응기)

- (가) 열분해 반응기의 재질은 열과 압력에 견딜 수 있는 것으로 선정하여야 한다.
- (나) 열분해 반응기 및 부품은 최대운전 온도에서의 열팽창에 의한 응력을 충분히 견딜 수 있도록 설계·제작되어야 한다.
- (다) 열분해가스 이송 배관은 청소 및 점검하기 쉬운 구조로 설계하여야 한다.
- (라) 열분해 반응기 내부의 온도를 측정할 수 있는 장치와 열분해 반응기의 과열 경보장치를 설치하고 지속적으로 모니터링 하여야 한다.
- (마) 열분해 반응기 내부의 압력을 수시로 측정할 수 있는 장치와 열분해 과정에서의 비이상적인 급격한 압력 상승을 해소할 수 있는 안전밸브 또는 파열판을 설치하고, 안전밸브로 가스 배출 시 배관 등을 통해 안전한 지역으로 방출되도록 하여야 한다.
- (바) 열분해 반응기 내부로의 산소 유입 등 비상상황 발생 시 열원 긴급 차단 및 설비의 비상정지가 가능하도록 하여야 한다.
- (사) 열분해 반응기의 투입구 및 배기구 등과 같은 개구부는 발화 시에 불이 다른 곳으로 번지지 아니하는 위치에 설치하고 필요한 경우에는 즉시 밀폐할 수 있는 구조로 하여야 한다.
- (아) 가급적 연속식 압력 측정기를 설치하고, 직독식 압력게이지를 설치한 경우 주기적으로 도압관을 청소하여야 한다.
- (자) 열분해 반응기의 경우 열분해가스의 누설 및 반응기 내부로의 공기 유입 관리가 매우 중요하며, 열분해 반응기 회전부 밀봉부분의 기밀 상태를 주기적으로 점검하여야 한다.
- (차) 폐합성수지 투입구 및 배관 연결부 등에 틈새가 발생하지 않도록 관리하고, 내열성 가스켓 설치 등 열분해가스 누출 방지를 위해 밀

폐상태를 유지하여야 한다.

- (카) 열분해 잔재물, 왁스, 이물질 등에 의해 열분해가스 배출 배관이 막히지 않도록 주기적으로 관리(청소)하여 열분해 반응기 내부의 열분해 가스가 지속적으로 배출되도록 하여야 한다.
- (타) 열분해 반응기의 내압이 정상적으로 운전되는 압력 일지라도 점검구 등의 기밀성을 유지하여야 한다.

(4) 열분해유 저장 및 출하(저장설비)

- (가) 열분해유를 저장·취급하는 대기압탱크에는 통기관 또는 통기밸브를 설치하여야 하며, 통기관 또는 통기밸브의 말단부분에 화염방지기를 설치하여 설비 외부에서 발생한 화염이 설비 내부로 전파되지 않도록 하여야 한다.
- (나) 저장설비 설치지역이 폭발위험지역으로 구분되는 경우 지지대는 내화구조로 설치하여야 한다.
- (다) 열분해유 저장탱크 주위에 열분해유 누출 시 확산 방지를 위해 방유제를 설치하여야 한다.
- (라) 저장설비 및 저장설비에서 탱크로리 등으로 주입하는 설비에 저장설비와 탱크로리의 등전위 유지를 위한 접지설비를 설치하여야 한다.
- (마) 작업자는 제전복을 착용하고 정전기 제거 후 작업하도록 하여야 한다.

(5) 가스 소각 (소각설비)

- (가) 열분해가스를 태우는데 필요한 화염이 감지되지 않을 경우 가스 공급을 자동으로 차단하는 장치를 설치하여야 한다.
- (나) 연소장치의 이상 연소 방지를 위하여 항상 불꽃이 꺼지지 않도록

파일럿 버너를 설치하여야 하고, 자동 점화 설비를 설치하여야 한다.

- (다) 가스소각로의 이상 연소 발생으로 압력 상승 시 대기 중으로 압력을 방출하기 위한 폭발방산구를 설치하여야 하며, 폭발방산구는 근로자 안전에 영향을 주지 않는 장소로 방출하여야 한다. 다만, 직화식 열소각로는 폭발방산구를 설치하지 아니할 수 있다.
- (라) 열분해가스 화염의 역화를 방지하기 위한 화염방지기를 설치하여야 한다.
- (마) 보조연료로 기체 또는 액체연료를 사용하는 경우 연소용 공기 공급팬 또는 배기팬이 작동하지 않으면 보조연료가 공급되지 않도록 연동되어야 한다.
- (바) 인화성 가스농도의 관리를 위한 환기설비를 설치하여야 한다.
- (사) 녹아웃드럼(knock-out drum)을 설치하여 응축물을 제거하는 등 액상의 인화성 물질이 소각설비로 유입되지 않도록 하여야 한다.
- (아) 가스를 열고 연소장치를 점화하기 전에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 연소실 등 가스소각설비 내부를 충분히 환기시켜야 한다.

(6) 잔재물 제거 (열분해 반응기)

- (가) 반응기가 충분히 냉각된 상태에서 잔재물 제거작업을 수행하도록 한다.
- (나) 잔재물 제거작업을 위해 투입구를 개방하기 전에 작업자가 열분해 반응기 내부에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 자동 배기 및 질소 등을 이용한 퍼지 시스템을 설치하고 이를 이용하여 열분해 반응기 내부의 인화성 가스를 제거한 후 작업을 시작하도록 하여야 한다.
- (다) 잔재물 제거는 가급적 작업자가 열분해 반응기 내부에 출입하지 않는 방법으로 수행하도록 한다.

- (라) 물을 살수하는 등 열분해 잔재물이 부유되지 않도록 한다.
- (마) 작업자가 열분해 반응기 내부에 진입하는 경우에는 반응기 온도, 잔류가스 제거 여부, 일산화탄소 및 이산화탄소 농도 등을 확인하여 안전한 온도 및 농도임을 확인한 후 진입한다.
- (바) 잔재물 제거 작업 시 작업자가 방진마스크를 착용하도록 한다.
- (사) 열분해 반응기 내부에서 작업을 수행하는 경우 불꽃 등의 점화원이 발생하지 않도록 방폭공구를 사용하고, 휴대용 연삭기 등의 화기 사용을 금지하여야 한다.

(7) 열분해 잔재물 저장 (저장 설비)

- (가) 열분해 잔재물의 자연발화에 의한 화재위험을 방지하기 위하여 잔재물 저장설비 내 온도상승을 감지하기 위한 온도측정 장치를 설치하여야 한다.
- (나) 저장설비의 온도 상승 시 화재발생을 방지하기 위하여 질소 퍼지 또는 살수설비를 설치하여야 한다.

3. 관리적 측면의 안전관리 방안

관리적 측면의 안전관리 방안은 사고사례 중 가장 많은 부분을 차지한 회분식의 로터리 킬른 반응기를 사용하는 공정 및 설비를 중심으로 제안하고자 한다. 사고를 예방하기 위해서는 기본적으로 산업안전보건기준에 관한 규칙에 따라 공정 및 설비를 관리하고 작업자의 안전을 확보할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 사고원인분석결과와 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE) 등의 내용을 반영한 관리적 측면의 사고예방 방안은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 산업안전보건법에서 정한 규정에 따라 건설물, 기계·기구·설비, 원재료, 가스, 증기, 분진, 근로자의 작업 행동 또는 그 밖의 업무로 인한 유해·위험요인을 찾아내어 부상 및 질병으로 이어질 수 있는 위험성의 크기가 허용 가능한 범위인지를 평가하고, 그 결과에 따라 필요한 조치를 하여야 한다.
- (2) 작업절차 및 방법이 상세하게 기술된 작업절차서를 작성하여 작업자에게 숙지시키고, 그에 따라 작업하도록 하여야 한다.
- (3) 작업 시작 전에 작업자에게 작업절차서에 따른 작업절차 및 방법, 비상 상황 발생 시 조치사항 등을 충분한 교육시키고 작업을 수행하도록 하여야 한다.
- (4) 작업자는 장비작동절차를 엄격히 준수하고 작동 기록을 작성하며, 장비의 작동 상태를 주의 깊게 모니터링하고 이상이 발견되면 긴급 조치를 하고, 관리자에게 보고해야 한다.
- (5) 열분해 설비 및 배관 등의 부속설비가 열분해 잔재물, 왁스, 이물질 등으로 막히지 않도록 일정 주기를 정해서 청소하여야 한다.
- (6) 설비 가동 중 작업이 불가피한 경우는 작업자가 위험 부분에 직접 접촉하지 않도록 작업자가 위험에 처할 우려가 있는 부위에 덮개·울·슬리브 및

건널다리 등을 설치하여야 한다.

- (7) 열분해설비에 대한 정비·보수작업은 반응기, 배관, 탱크, 열교환기 등 설비 내부의 인화성 물질을 완전히 제거한 후 수행하여야 한다.
- (8) 열분해 반응기 체인이나 하부 톨러 및 스크류 등 작업자가 점검 및 정비 등의 작업 시 끼임(협착) 위험이 있는 경우에는 반드시 운전을 정지한 후 작업을 실시하여야 한다.
- (9) 이송배관, 촉매탑 등 고소작업이 실시되는 설비에는 작업발판이나 안전난간을 설치하고, 작업발판이나 안전난간의 설치가 곤란한 경우에는, 안전대 부착설비를 설치하고 작업자에게 안전대를 착용하게 하는 등의 안전조치를 하여야 한다.
- (10) 환기나 배기가 원활하지 않아 작업자가 유해물질에 노출될 우려가 있는 경우에는 반드시 방독마스크나 송기마스크 등의 적절한 호흡용 보호구와 눈과 피부 보호용 보호구를 착용하도록 하여야 한다.

4. 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE)(안)

앞에서 제시한 페플라스틱 열분해 공정 취급 및 생성 물질의 위험성, 열분해 공정 및 설비의 위험요인과 안전관리 방안, 관리적 측면의 사고예방 방안을 기반으로 로터리 킬른식 열분해 공정 및 설비의 안전보건기술지침(안)을 작성하고, 전문가 의견을 수렴하였다. 전문가들이 제시한 의견을 반영한 최종 안전보건기술지침(안) 부록 4에 제시하였다.

VI. 결론

.....

VI. 결론

본 연구에서는 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장에서의 화학사고 예방을 위한 제도적·기술적 안전관리 방안을 마련하고자 하였다. 이를 위해 관련 사업장 실태를 파악하고, 관련 법규 조사, 사고사례 분석, 공정 위험 분석, 공정 취급 및 생성 물질에 대한 화재·폭발 특성 조사 및 시험 등을 통해 폐플라스틱 열분해 유화처리 사업장에서의 화학사고 예방을 위한 제도적·기술적 안전관리 방안을 도출하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1. 폐플라스틱 열분해 관련 현황

1) 국내 연구개발 현황

정부의 환경정책 및 탄소중립 정책과 관련하여 정부 및 대기업에서의 폐플라스틱의 열분해 관련 연구개발이 더욱 활발하게 진행될 것으로 판단된다. 그러나 현재까지의 폐플라스틱 열분해 관련 연구는 기술개발 및 상업화를 중심으로 수행되고 있기 때문에 열분해 공정 및 설비에서의 안전확보를 위한 연구도 같이 병행해서 추진할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2) 국내 열분해 유화 업체 현황

2022년 6월말 기준으로 국내 폐플라스틱 열분해 사업장은 26개사 정도로 대부분 20인 미만의 소규모 사업장인 것으로 나타났다. 상업적으로 열분해 설비를 운영하고 있는 사업장은 12개사인 것으로 나타났는데, 대부분 로터리 킬른을 이용한 회분식 반응기를 사용하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 중국과 인도 등의 폐플라스틱 열분해 설비 제작업체도 대부분 로터리 킬른 반응기를

이용한 설비를 제작하고 있는 것으로 나타났다. 페플라스틱 열분해를 확대하고자 하는 정부의 정책에 따라 로터리 킬른 반응 공정을 이용하는 신규 사업장이 증가할 것으로 예상되는데, 이들 사업장의 안전을 확보하기 위한 정책 및 기술적 지원이 필요할 것으로 판단된다.

3) 국내 관련 법규 현황

페플라스틱 열분해 설비 및 공정의 안전과 관련된 법규는 폐기물관리법, 위험물 안전관리법, 산업안전보건법, 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률 등이 있는 것으로 나타났다. 폐기물관리법에 따라 페플라스틱 열분해 사업장에서 열분해 설비의 설치 및 정기검사를 받도록 하는 법규가 입법예고된 상태였다. 위험물 안전관리법과 관련해서는 열분해 설비 및 저장설비에 대한 허가가 필요한 것으로 확인되었다. 산업안전보건법에 따라서는 열분해 설비의 규모 및 열분해유의 생산량에 따라 공정안전보고서 작성 및 제출 또는 유해위험방지계획서 작성 및 제출 대상에 해당될 수도 있을 것으로 판단되었다. 그리고 산업안전보건 기준에 관한 규칙의 폭발·화재 및 위험누출에 의한 위험방지 관련 규정을 적용하여 페플라스틱 열분해 설비를 제작·설치하고 운영해야 할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

페플라스틱 열분해유에 대해서는 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률에 따라 열분해유를 화학물질로 등록해야 하는 의무와 산업안전보건법에 따라 물질안전보건자료(MSDS)를 작성해야 하는 의무가 적용될 수 있다. 그러나 대부분의 페플라스틱 열분해 사업장이 소규모이고, 최근에 신설된 사업장이 많기 때문에 법적인 사항에 대해 사업장에서 인지하지 못하고 있는 경우가 많기 때문에 이에 대한 적극적인 홍보와 교육 및 정책적 지원이 필요할 것으로 판단된다.

2. 폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고사례

1) 국내 사고사례

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 폐플라스틱 열분해 사업장에서 16건의 화재·폭발사고가 발생한 것으로 파악되었다. 여러 건의 사고가 발생한 사업장이 있는 것을 고려하더라도, 사업장수가 20여개 수준인 것을 감안하면 다른 산업에 비해 상대적으로 높은 비율로 사고가 발생하고 있어 사고예방대책 마련이 중요한 과제인 것으로 나타났다.

2) 국외 사고사례

일본, 독일, 인도 등에서 폐플라스틱 열분해 공정 중에 여러 건의 화재·폭발 사고가 발생한 것으로 확인되었다. 사고는 대부분 누출되어 체류 중인 열분해 가스가 점화되어 폭발하거나 화재로 이어진 것이었는데 상세한 사고원인은 제시되지 않은 경우가 많았다. 따라서 국내 사고사례의 상세한 원인분석을 통해 사고예방대책을 마련할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

3) 사고사례 분석결과

국내 폐플라스틱 열분해 공정에서 발생한 화재·폭발 사고사례를 4M, STAMP-CAST, AcciMap 등의 방법으로 분석하였다. 사고원인은 기계적·관리적·인적·물질적인 측면과 설비의 설계·제작·시운전·운영 단계에서 다양하게 존재하는 것으로 나타났다. 또한 사업장의 사업주와 생산·정비조직 및 작업자뿐만 아니라 정부와 규제기관 등 여러 계층에서 문제가 있는 것으로 나타났다. 따라서 사고를 예방하기 위해서는 기술적, 관리적, 제도적 측면의 종합적인 예방대책을 마련할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

3. 페플라스틱 열분해 공정 및 설비의 위험성

1) 열분해 생성 물질의 위험성

페플라스틱이 열분해 되면 가스, 오일, 탄화물 등의 물질이 생성되는데 각각 여러 잠재 위험성이 있는 것으로 확인되었다. 열분해가스는 수소, 탄화수소, 일산화탄소 등으로 구성되는 것으로 나타났는데, 자연발화점이 최저 324 ℃ 정도인 물질도 있어 열분해 반응기에 산소가 유입되면 바로 폭발이 발생할 수도 있을 것으로 판단되었다. 열분해유는 인화점이 -67 ℃부터 48 ℃까지 분포하는 것으로 나타나 점화원 관리에 특히 유의할 필요성이 있는 것으로 나타났고, 열분해 잔재물은 분진폭발 위험이 있는 것으로 나타났다. 또한 열분해 과정에서 생성되는 왁스와 코킹에 대한 위험성도 고려하여 설비를 운영할 필요가 있는 것으로 나타났다.

2) 공정 및 설비의 위험 요인

사고분석결과 및 문헌조사 결과를 바탕으로 열분해 공정 및 설비에 잠재되어 있는 여러 위험성을 제시하였다. 사고를 예방하기 위해서는 각 공정 및 설비의 위험성을 낮추거나 제거하기 위하여 방호장치 설치, 안전설계, 안전한 작업방법 마련, 센서 및 인터락 설치 등 기술적 방안과 함께 작업 수행과 관련된 관리적인 방안이 필요할 것으로 판단되었다.

4. 페플라스틱 열분해 공정의 안전관리 방안

1) 법적 안전관리 방안

페플라스틱 열분해 공정에서의 사고를 예방하기 위해서는 폐기물관리법, 위험물 안전관리법, 산업안전보건법 등에서 적용대상 및 안전기준을 명확하게 할

필요성이 있다. 그리고 사업장에서 법적 의무사항을 인식하고 준수할 수 있도록 관련 내용을 적극적으로 홍보하고 정책적으로 지원하여 사업장 스스로가 안전을 확보하도록 할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

2) 공정 및 설비, 관리적 측면의 안전관리 방안

열분해 공정 및 설비의 안전을 확보하기 위하여 물질, 설비, 공정의 기술적 측면에서 사고예방에 필요한 사항을 제시하였다. 또한 작업자 교육, 작업절차서 작성, 위험성평가 등의 관리적 측면에서 필요한 방안도 제시하였다. 이러한 방안을 기반으로 안전보건기술지침을 작성하였고, 사업장에 홍보 및 교육방안을 제시하였다. 이러한 사항은 사업의 시작단계부터 체계적으로 지원하고 관리할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

5. 연구의 한계 및 향후 과제

1) 연구의 한계

국내 사업장에서 대부분 로터리 킬른식 반응기를 사용하고 있어 다른 반응기를 사용하는 공정 및 설비는 일부만 언급하였다. 또한 사업장마다 공정이 다르기 때문에 일부 공정은 분석 대상에 포함되지 않았다. 열분해 원료로 사용되는 폐플라스틱의 구성성분이 매번 다르기 때문에 열분해유나 열분해 잔재물에 대한 시험결과를 일반화하기 어려운 점이 있었지만 이들 물질의 취급 및 저장 시 화재·폭발 위험이 있음을 확인할 수 있었다.

2) 향후 과제

폐플라스틱 열분해 잔재물의 화재·폭발 위험성에 대해서는 추가 연구가 필요할

것으로 판단된다. 열분해 잔재물은 분진폭발 위험성이 있음을 본 연구를 통해 확인하였지만, 다른 물리적 특성은 시료의 제한으로 수행하지 못하였다. 잔재물과 구성 성분이 유사한 석탄과 같은 경우 공기 중에 노출될 경우, 산화가 되면서 발생하는 산화열에 의해 자연발화가 되는 경우가 있다. 따라서 저장, 운반, 취급 등의 작업 중 안전성을 확보하기 위하여 폐플라스틱 열분해 잔재물의 자연발화 특성, 최대폭발 압력, 최소점화에너지 등에 대한 추가 실험 및 위험성 분석이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 폐플라스틱의 열분해 과정에서 발생하는 가스는 자극적인 냄새를 유발하였는데, 작업자가 이러한 가스를 흡입 시 어떠한 문제가 발생하는지에 대한 연구결과는 거의 없다. 따라서 이에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강준구, 폐기물로부터 회수된 열분해 액(기)체 연료/원료에 대한 정책 및 기술 현황, 폐플라스틱 화학적 재활용 트렌드 및 R&D 사례와 상용화 세미나 발표 자료, 2022.4.28.
- 고대신문, 고유가시대 ‘값진’ 쓰레기를 잡아라. 열분해 유화기술, 폐기물에서 연료유 추출해 활용도 매우 커. 2007.5.13. (<http://www.kunews.ac.kr/news/articleView.html?idxno=9878>).
- 김성수. 폐플라스틱 열분해 기술개발 동향. KONETIC REPORT. 2009. https://www.konetic.or.kr/main/REPORT_VIEW.asp?unitue_num=1229&skey=플라스틱&gotopage=3).
- 김영민 등, 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술 개발, 한국에너지기술연구원, 2006.
- 김영민, 임세정, 김지찬, 제정호. 폐플라스틱 촉매 열분해를 통한 재생 연료 및 화학제품 생산 기술 연구동향. 공업화학 전망, 제24권 제2호 pp. 10-21. 2021.
- 김형욱·엄남일·박윤수·이영기·김기현, 폐플라스틱류 수집 및 재활용 현황과 정책 방향. J. Korea Soc. Waste Manag., Vol. 35, No. 6, pp. 471-480, 2018
- 김효준, PET 재활용에 따른 온실가스 배출량 저감 효과성에 대한 연구, 서울시립대학교 석사학위 논문, 2020.
- 노남선, 이경환. 폐플라스틱의 열화학적 재활용 분야에 대한 국내 동향. 한국신·재생에너지학회지 Vol. 01 No. 02. pp. 6-12. 2021.

- 산업교육연구소, 페플라스틱 화학적 재활용 트렌드 및 R&D 사례와 상용화 세미나 발표자료, 2022.4.28.
- 서용칠, 폐기물 관리와 에너지화 기술의 역사(발표자료). 2019년도 봄 학술대회 특별심포지엄3. 한국화학공학회. 2019.
- 신대현, 폐기물 에너지화 기술-열분해 기술, 에너지관리공단 폐기물 연구회, pp. 93-115, 2002.
- 신대현 등, “고분자 폐기물로부터 고급연료유 생산공정 실용화”, 과학기술부 연구보고서, 2003.
- 신대현, 김동찬 등. 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술 개발. 한국에너지 기술연구원 연구보고서 2A-A-1-1. 2006.
- 신대현 등, 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 실용화 기술 개발, 한국에너지 기술연구원 연구보고서 3A-1-1, 2008.
- 신대현, 노남선, 김성주, 김경호, 김상욱. 폐합성수지류의 열분해 유화 기술 동향. 자원리사이클링 제19권 제1호. pp. 3-12. 2010.
- 산업안전보건법, 시행령, 시행규칙, 국가법령정보센터
- 산업통상자원부, 보도자료 “산업부, 6.7조 원 규모의 산업부문 탄소중립 기술개발 예타 기획(안) 마련 - 산업부문 탄소중립 R&D 기획총괄위원회 개최” (2021.8.26.).
- 서울시립대학교 산학협력단, 열분해 공정에서 생산되는 왁스 제거용 충격분리 장치, 대한민국특허청 등록특허공보(10-0994244.), 2010.
- 안전보건공단. 화학사고 사례연구. 폐기물 열분해 재생유 생산공정 화재 사고 (2021-중대산업사고예방실-314). 2021.

- 안전보건공단 홈페이지. 화학물질정보(<https://msds.kosha.or.kr>)
- 에코크레이션 홈페이지, <http://ecocreation-in.com/technic-article-2/?pageid=2&mod=document=36>, 2022.5.7 접속
- 연합인포맥스, LG화학, 당진에 초임계 페플라스틱 열분해유 공장 건설, 2022.01.18.
- 오세천. 국내 페플라스틱의 제도적 및 기술적 현황과 이슈(발표자료). 화학공학의 이론과 응용 제25권 제1호. 2019. (www.kiche.or.kr/sub07.php?act=read&page=2&aid=13600&sc=&keyword=).
- 위험물안전관리법, 시행령, 시행규칙, 국가법령정보센터.
- 정수현, 페비닐류의 친환경처리를 위한 열분해 유화기술의 적용방안, 2019. 한국 화학공학회 홈페이지 게시자료(<https://www.kiche.or.kr/board/download>).
- 조지혜, 신동원, 김영희, 페플라스틱 열분해 추진여건 및 정책과제, 한국환경연구원. 2022.
- 중소기업청, 폐기물 에너지산업 로드맵 2013.
- 폐기물관리법, 시행령, 시행규칙, 국가법령정보센터.
- 한국석유화학협회 홈페이지. www.kpia.or.kr/petrochemical-industry/statistics. 2022. 6. 30. 조회
- 한국화학공학회/게시판/자료실/[2019년도 봄 학술대회] 특별심포지엄3-지속 가능한 플라스틱 자원 순환 기술의 방향성:현재부터 미래까지 심포지엄.
- 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률, 시행령, 시행규칙, 국가법령센터.
- 환경부. 플라스틱 전주기 발생 저감 및 재활용 대책 수립(보도자료). 2020.

- 환경부. 페플라스틱 열분해 반응기 순환경제, 탄소중립 선도(보도자료). 2021.
- 환경부, 공고(2021.12.29.), “2022년 환경기술개발사업(18개) 추진계획 공고 및 사업안내서”, pp. 62-71.
- Abalansa S., El Mahrad B., Vondolia G. K., Icely J., and Newton A., The marine plastic litter issue: A social-economic analysis, Sustainability, 12, pp. 1-27, 2020.
- Arabiourrutia M. et al., Characterization of the waxes obtained by the pyrolysis of polyolefin plastics in a conical spouted bed reactor. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Vol. 94, pp. 230-237, 2012.
- Chamas A., Moon H., Zheng J., Qiu Y., Tabassum T., Jang J. H., Abu-Omar M., Scott S. L., and Suh S., Degradation rates of plastics in the environment, ACS Sustain. Chem. Eng., 8, pp. 3494-3511, 2020.
- Central Pollution Control Board, Study on Plastic Waste Disposal through “Plasma Pyrolysis Technology”, 2016.
- Czajczynska D., Nannou T., Anguilano L., Krzyżyńska R., Ghazal H., Spencer N., and Jouhara H., Potentials of pyrolysis processes in the waste management sector, Energy Procedia, 123, pp. 387-394, 2017.
- Dai L. et al., Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review, Progress in Energy and Combustion Science 93, 2022.

- Eze W. U. et al., Plastics waste management: A review of pyrolysis technology, *Clean Technologies and Recycling*, 1(1), pp. 50-69, 2021, DOI: 10.3934/ctr.2021003
- Gebre S. H., Sendeku M. G., and Bahri M., Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, *ChemistryOpen* 2021, 10, pp. 1202-1226, doi.org/10.1002/open.202100184.
- Grigore M., Methods of recycling, properties and applications of recycled thermoplastic polymers, *Recycling*, 2, pp. 1-11, 2017.
- GS칼텍스. 물질안전보건자료(AA03534-0000000115), 2021.12.20. 개정본
- GS칼텍스. 물질안전보건자료(AA03534-0000000068), 2021.09.30. 개정본
- https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/SAI_DET.aspx?joho_no=100116.
- https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52747_en/?lang=en.
- <https://www.bgrci.de/exinfode/ex-schutz-wissen/aus-unfaellen-lernen/explosion-bei-wartungsarbeiten-in-einer-pyrolyseanlage>.
- https://www.tukes.fi/documents/5470659/9181216/joensuu_report_abstract270314.pdf/f648162c-bbca-4130-ac32-bd6d7ce74b9c/joensuu_report_abstract270314.pdf.
- IPEC(International Power Ecology Company), Pyrolysis plant disasters, 2014.12.18. (www.tdplant.com/news/disasters-at-pyrolysis-plants)
- Ma, S. et al., Study of the low temperature pyrolysis of PVC, *Energy*

- Fuels 16, pp. 338-342, 2002
- Miandad R., Barakat M.A., Aburizaiza Asad S., Rehan M., Nizami A.S., Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review, Process Saf. Environ., 102, pp. 822-838, 2016.
- OECD, Improving plastics management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade, Environ. Policy, 20, 2018.
- PWMI, An introduction to plastic recycling, Plastic Waste Management Institute, pp. 1-33, 2019.
- Rogers, C., Means, P., Gonzalez, R., Sheets, K., & Townsend, H, Economic Feasibility of Mixed Plastic Waste Pyrolysis Using Twin Reactor System in Northwest Arkansas. Chemical Engineering Undergraduate Honors Theses Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/cheguht/175>, 2021.
- 橋秀昭, 화학적 재활용의 동향과 장래 전망-페플라스틱의 유화기술을 중심으로. 플라스틱스テージ, 임시증간호. 2003.
- 社團法人プラスチック處理新瀉促進協會, 플라스틱油化センターの現況, 2000.
- 中農勝博, 林靜男, 喜田清則. 誘導加熱・熱分解技術を應用した廢棄物處理, 富士時報 Vol.73 No.7 2000.

Abstract

Safety management measures of waste plastic pyrolysis processes into oil

Objectives : The purpose of this study is to establish institutional and technical safety management measures to prevent chemical accidents in pyrolysis processes of waste plastic to make oil, which is attracting attention as an alternative technology in the plastic recycling field.

Method : In order to derive the risks of the waste plastic pyrolysis processes, the actual conditions of waste plastic pyrolysis plants and laws related to waste plastic pyrolysis oil and pyrolysis facilities were investigated. In addition, accident cases that occurred in the waste plastic pyrolysis processes were analyzed, and fire and explosion characteristics of the materials generated in the pyrolysis process were investigated and tested.

Results : As of June 2022, it was found that there were 26 waste plastic pyrolysis plants in Korea. It was confirmed that most of them were small businesses with less than 20 employees and were using batch reactors with a rotary kiln. Regarding the safety of waste plastic pyrolysis facilities and processes, the Waste Management Act, the Hazardous Materials Safety Management Act, the Industrial Safety and Health Act, the Chemical Substances Management Act, and the Act on Registration and Evaluation of Chemicals were reviewed, and related problems and improvements were proposed. In the last 5 years from

2017 to 2021, 16 fires or explosions occurred at waste plastic pyrolysis plants. Considering that the number of workplaces is 26, the accidents occurred at a relatively high rate compared to other industries. The causes of the accidents were more in mechanical, managerial and material aspects than human factors, and exist in most work stages such as designing, manufacturing, installing, testing, and operating of the pyrolysis facilities. In terms of social structure, it was found that there were problems at various levels, including the government, regulatory agencies, and business owners, as well as workers and production and maintenance organizations of workplaces. The substances produced in waste plastic pyrolysis processes such as gas, oil, and char, have been identified as involving several potential fire and explosion hazards. Considering the causes of the accidents and the risk factors, the measures to prevent accidents in waste plastic pyrolysis processes and facilities were presented.

Conclusion : In order to prevent accidents and secure safety in the waste plastic pyrolysis process, it was judged that the legal improvements were necessary, such as the Waste Management Act and the Industrial Safety and Health Act. In addition, safety management plans related to hazard materials, processes and facilities, and the organization of the pyrolysis plants seemed to be necessary.

Key words : Waste Plastic, Pyrolysis, AcciMap, Accident Analysis

부록

1. 폐기물관리법의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 조항
2. 산업안전보건법의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 조항
3. 위험물안전관리법의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 조항
4. 로터리 킬른 폐합성수지 열분해 설비의 안전보건기술지침(안)

1. 폐기물관리법의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 조항

[폐기물관리법]

제29조(폐기물처리시설의 설치)

- ① 폐기물처리시설은 환경부령으로 정하는 기준에 맞게 설치하되, 환경부령으로 정하는 규모 미만의 폐기물 소각 시설을 설치·운영하여서는 아니 된다.
- ② 제25조제3항에 따른 폐기물처리업의 허가를 받았거나 받으려는 자 외의 자가 폐기물처리시설을 설치하려면 환경부장관의 승인을 받아야 한다. 다만, 제1호의 폐기물처리시설을 설치하는 경우는 제외하며, 제2호의 폐기물처리시설을 설치하려면 환경부장관에게 신고하여야 한다.
 1. 학교·연구기관 등 환경부령으로 정하는 자가 환경부령으로 정하는 바에 따라 시험·연구목적으로 설치·운영하는 폐기물처리시설
 2. 환경부령으로 정하는 규모의 폐기물처리시설
- ③ 제2항의 경우에 승인을 받았거나 신고한 사항 중 환경부령으로 정하는 중요 사항을 변경하려면 각각 변경승인을 받거나 변경신고를 하여야 한다.
- ④ 폐기물처리시설을 설치하는 자는 그 설치공사를 끝낸 후 그 시설의 사용을 시작하려면 다음 각 호의 구분에 따라 해당 행정기관의 장에게 신고하여야 한다.
 1. 폐기물처리업자가 설치한 폐기물처리시설의 경우: 제23조에 따른 허가관청
 2. 제1호 외의 폐기물처리시설의 경우: 제29조제2항에 따른 승인관청 또는 신고관청

제30조(폐기물처리시설의 검사)

- ① 환경부령으로 정하는 폐기물처리시설의 설치를 마친 자는 제30조의2제3항에 따른 폐기물처리시설 검사기관으로부터 검사를 받아야 한다. 제29조제3항에 따른 변경승인을 받거나 변경신고를 한 경우로서 환경부령으로 정하는 경우에도 또한 같다.
- ② 제1항에 따른 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자는 환경부령으로 정하는 기간마다 제1항에 따른 검사기관으로부터 정기검사를 받아야 한다. 이 경우 검사기간 내에 「환경기술 및 환경산업 지원법」 제13조에 따라 같은 시설에 대한 기술진단을 받으면 정기 검사를 받은 것으로 본다(「환경기술 및 환경산업 지원법」

제13조제3항에 따른 요청을 이행하지 아니한 경우는 제외한다).

- ③ 제1항 또는 제2항에 따른 검사에서 적합 판정을 받지 아니한 폐기물처리시설은 사용할 수 없다. 다만, 검사를 위하여 그 시설을 사용하는 경우에는 그러하지 아니하다.

[폐기물관리법 시행규칙]

제35조(폐기물처리시설의 설치기준)

- ① 법 제29조제1항에 따른 폐기물처리시설의 설치기준은 별표 9와 같다.
- ② 환경부장관은 폐기물처리시설의 적합한 설계·시공을 위하여 필요하면 제1항에 따른 설치기준에 관한 지도기준을 결정·고시할 수 있다.

제37조(폐기물처리시설 설치 승인·신고의 제외 대상 등)

- ① 법 제29조제2항제1호에서 “환경부령으로 정하는 자”란 다음 각 호의 자를 말한다.
 1. 「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조제1항에 따른 기관
 2. 「고등교육법」 제2조에 따른 대학·산업대학·전문대학·기술대학 및 그 부설연구기관
 3. 국·공립연구기관
 4. 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률」 제14조제1항제2호에 따른 기업부설연구소 및 기업의 연구개발전담부서
 5. 「산업기술연구조합 육성법」에 따른 산업기술연구조합
 6. 「환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률」 제6조제2항에 따른 기관 및 단체
 7. 그 밖에 환경부장관이 정하여 고시하는 자
- ② 법 제29조제2항제1호에 따른 폐기물처리시설을 설치·운영하려는 자는 별지 제22호서식의 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치·운영계획서를 시·도지사나 지방환경관서의 장에게 제출하여야 하며, 이를 제출받은 시·도지사나 지방환경관서의 장은 그 시설을 설치·운영하려는 자가 제1항 각 호의 어느 하나에 해당하는 자인지 여부, 적절한 환경시설을 설치하였는지 여부 및 시험·연구 목적을 확인하고 그 확인결과(환경시설의 경우 보완할 사항이 있으면 그 보완할 사항을 포함한다)를 신청인에게 알려야 한다.

제38조(설치신고대상 폐기물처리시설)

법 제29조제2항제2호에서 “환경부령으로 정하는 규모의 폐기물처리시설”이란 다음 각 호의 시설을 말한다.

1. 일반소각시설로서 1일 처분능력이 100톤(지정폐기물의 경우에는 10톤) 미만인 시설
2. 고온소각시설·열분해시설·고온용융시설 또는 열처리조합시설로서 시간당 처분능력이 100킬로그램 미만인 시설
3. 기계적 처분시설 또는 재활용시설 중 증발·농축·정제 또는 유수분리시설로서 시간당 처분능력 또는 재활용능력이 125킬로그램 미만인 시설
4. 기계적 처분시설 또는 재활용시설 중 압축·압출·성형·주조·파쇄·분쇄·탈피·절단·용융·용해·연료화·소성(시멘트 소성로는 제외한다) 또는 탄화시설로서 1일 처분능력 또는 재활용능력이 100톤 미만인 시설
5. 기계적 처분시설 또는 재활용시설 중 탈수·건조시설, 멸균분쇄시설 및 화학적 처분시설 또는 재활용시설
6. 생물학적 처분시설 또는 재활용시설로서 1일 처분능력 또는 재활용 능력이 100톤 미만인 시설
7. 소각열회수시설로서 1일 재활용능력이 100톤 미만인 시설

제39조(폐기물처리시설의 설치 승인 등)

- ① 법 제29조제2항에 따라 폐기물처리시설을 설치하려는 자는 별지 제23호서식의 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치승인신청서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 그 시설의 소재지를 관할하는 시·도지사나 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.
 1. 처분 또는 재활용 대상 폐기물 배출업체의 제조공정도 및 폐기물배출명세서(사업장폐기물배출자가 설치하는 경우만 제출한다)
 2. 폐기물의 종류, 성질·상태 및 예상 배출량명세서(사업장폐기물배출자가 설치하는 경우만 제출한다)
 3. 처분 또는 재활용 대상 폐기물의 처분 또는 재활용 계획서(재활용시설의 경우에는 재활용 용도 또는 방법을 포함한다)
 4. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치 및 장비확보 계획서
 5. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설계도서(음식물류 폐기물을 처분 또는

재활용하는 시설인 경우에는 물질수지도를 포함한다)

6. 처분 또는 재활용 후에 발생하는 폐기물의 처분 또는 재활용계획서
7. 공동폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치·운영에 드는 비용부담 등에 관한 규약(법 제18조제5항에 따라 폐기물처리시설을 공동으로 설치·운영하는 경우만 제출한다)
8. 폐기물 매립시설의 사후관리계획서
9. 환경부장관이 고시하는 사항을 포함한 시설설치의 환경성조사서[면적이 1만 제곱미터 이상이거나 매립용적이 3만 제곱미터 이상인 매립시설, 1일 처분 능력이 100톤 이상(지정폐기물의 경우에는 10톤 이상)인 소각시설, 1일 재활용능력이 100톤 이상인 소각열회수시설이나 폐기물을 연료로 사용하는 시멘트 소성로의 경우만 제출한다]. 다만, 「환경영향평가법」에 따른 전략환경영향평가 대상사업, 환경영향평가 대상사업 또는 소규모 환경영향평가 대상사업의 경우에는 전략환경영향평가서, 환경영향평가서나 소규모 환경영향평가서로 대체할 수 있다.
10. 배출시설의 설치허가 신청 또는 신고 시의 첨부서류(배출시설에 해당하는 폐기물 처분시설 또는 재활용시설을 설치하는 경우만 제출하며 제1호부터 제8호까지의 서류와 중복되면 그 서류는 제출하지 아니할 수 있다)
 - ② 시·도지사나 지방환경관서의 장은 제1항에 따른 폐기물 처분시설 또는 재활용 시설 설치승인 신청이 다음 각 호의 기준 및 방법에 적합하면 별지 제24호 서식의 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치승인서를 신청인에게 내주어야 한다.
 1. 제14조에 따른 폐기물처리에 관한 구체적인 기준 및 방법
 2. 제35조제1항에 따른 폐기물처리시설의 설치기준
 - ③ 법 제29조제3항에 따라 변경승인을 받아야 할 중요사항은 다음 각 호와 같다.
 1. 상호의 변경(사업장폐기물배출자가 설치하는 경우만 해당한다)
 2. 처분 또는 재활용 대상 폐기물의 변경
 3. 처분시설 또는 재활용시설 소재지의 변경
 4. 승인 또는 변경승인을 받은 처분 또는 재활용 용량의 합계 또는 누계의 100분의 30 이상의 증가
 5. 매립시설 제방의 증·개축
 6. 주요설비의 변경. 다만, 다음 각 목의 경우만 해당한다.
 - 가. 폐기물 처분시설의 구조변경으로 별표 9 제1호나목2)가)의 (1)·(2), 나)의 (1)·(2), 다)의 (2)·(3), 라)의 (1)·(2)의 기준이 변경되는 경우

- 나. 폐기물 재활용시설의 구조 변경으로 별표 9 제3호마목13)·14) 또는 사목11)·12)의 기준이 변경되는 경우
 - 다. 차수시설·침출수 처리시설이 변경되는 경우
 - 라. 별표 9 제2호 나목2)바)에 따른 가스 처리시설 또는 가스 활용시설이 설치되거나 변경되는 경우
 - 마. 별표 9 제2호나목2)차)에 따라 침출수매립시설환원정화설비를 설치하거나 변경하는 경우
 - 바. 배출시설의 변경허가 또는 변경신고 대상이 되는 경우
- ④ 제3항에 따라 변경승인을 받으려는 자는 제3항제2호부터 제6호까지의 규정에 해당하면 변경 전에, 제3항제1호에 해당하면 승인사유가 발생한 날부터 30일 이내에 각각 별지 제23호서식의 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치변경 승인신청서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 시·도지사나 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.
1. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치승인서
 2. 변경내용을 확인할 수 있는 서류(제3항제1호의 경우만 제출한다)
 3. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치변경계획서(제3항제4호부터 제6호까지의 경우만 제출한다)
 4. 배출시설의 변경허가 신청 또는 변경신고의 첨부서류(처분 또는 재활용 용량이나 주요 설비의 변경 등으로 배출시설의 변경허가 또는 변경신고 대상에 해당되는 경우만 제출한다)
 5. 환경성조사서(처분 또는 재활용 용량의 증가로 제1항제9호에 해당되는 경우만 제출한다)

제40조(폐기물처리시설의 설치신고 등)

- ① 법 제29조제2항 단서에 따라 폐기물처리시설의 설치신고를 하려는 자는 별지 제25호서식의 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치신고서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 시·도지사나 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.
1. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치 및 장비확보 계획서
 2. 환경부장관이 고시하는 사항을 포함한 시설설치의 환경성조사서(1일 소각 용량이 50톤 이상인 소각시설 또는 소각열회수시설의 경우만 제출한다)
 3. 배출시설의 설치허가 신청 또는 신고 시의 첨부서류(배출시설에 해당하는

- 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 경우만 제출한다)
4. 공동폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치·운영에 드는 비용부담 등에 관한 규약(법 제18조제5항에 따라 폐기물처리시설을 공동으로 설치·운영하는 경우만 제출한다)
 - ② 시·도지사나 지방환경관서의 장은 제1항에 따른 신고서를 받으면 별지 제26호서식의 신고증명서를 신고인에게 내주어야 한다.
 - ③ 법 제29조제3항에 따라 변경신고를 하여야 할 중요사항은 다음 각 호와 같다.
 1. 상호의 변경(사업장폐기물배출자가 설치하는 경우만 해당한다)
 2. 처분시설 또는 재활용시설 소재지의 변경
 3. 처분 또는 재활용 대상 폐기물의 변경
 4. 신고 또는 변경신고를 한 처분 또는 재활용 용량의 합계 또는 누계의 100분의 30 이상의 증가
 5. 주요 설비의 변경. 다만, 폐기물 처분시설의 구조변경으로 별표 9 제1호나목2)가)의 (1)·(2), 나)의 (1)·(2), 다)의 (2)·(3), 라)의 (1)·(2)의 기준이 변경되는 경우, 폐기물 재활용시설의 구조변경으로 별표 9 제3호나목13)·14) 또는 사목11)·12)의 기준이 변경되는 경우 및 배출시설의 변경허가 또는 변경신고 대상이 되는 경우만 해당한다.
 - ④ 제3항에 따른 변경신고를 하려는 자는 제3항제2호부터 제5호까지의 규정에 해당하면 변경 전에, 제3항제1호에 해당하면 신고사유가 발생한 날부터 30일 이내에 각각 별지 제25호서식의 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치변경 신고서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 시·도지사나 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.
 1. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설 설치신고증명서
 2. 변경내용을 확인할 수 있는 서류(제3항제1호의 경우만 제출한다)
 3. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치변경계획서(제3항제4호 및 제5호의 경우만 제출한다)
 4. 배출시설의 변경허가 신청 또는 변경신고의 첨부서류(처분 또는 재활용 용량이나 주요 설비의 변경 등으로 배출시설의 변경허가 또는 변경신고 대상에 해당되는 경우만 제출한다)

제41조(폐기물처리시설의 사용신고 및 검사)

- ① 법 제29조제4항에 따라 폐기물처리시설의 설치자(제29조제1항제2호가목, 나목 및 라목부터 바목까지와 같은 항 제3호가목부터 다목까지 및 마목부터 사목까지의 규정에 따라 폐기물처리업의 변경허가를 받은 자를 포함한다)는 해당 시설의 사용개시일 10일 전까지 별지 제27호서식이나 별지 제28호서식의 사용개시신고서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 시·도지사나 지방환경관서의 장에게 제출해야 한다. 다만, 「대기환경보전법」 제2조제12호에 따른 대기오염방지시설만을 증설하거나 교체하였을 때에는 제2호의 서류를 첨부하지 않을 수 있다.

1. 해당 시설의 유지관리계획서
2. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설(법 제29조제2항제1호에 따른 시설은 제외한다)의 경우에는 법 제30조의2제3항에 따른 폐기물처리시설 검사기관(이하 “폐기물처리시설 검사기관”이라 한다)에서 발급한 그 시설의 검사결과서가. 소각시설[중전의 소각열회수시설을 소각시설로 변경(처분대상 폐기물이 동일한 경우에 한정한다)하여 사용하려는 경우에는 해당 소각열회수시설 설치 당시 폐기물처리시설 검사기관에서 발급한 그 시설의 검사결과서로 대체할 수 있다]
- 나. 매립시설
- 다. 멸균분쇄시설(영 별표 3 제1호나목9)에 해당하는 시설로서 의료폐기물을 대상으로 하는 시설을 포함한다. 이하 이 조에서 같다)
- 라. 음식물류 폐기물을 처리하는 시설로서 1일 처리능력 100킬로그램 이상인 시설(이하 “음식물류 폐기물 처리시설”이라 한다)
- 마. 시멘트 소성로(폐기물을 연료로 사용하는 경우로 한정한다)
- 바. 소각열회수시설

- ② 법 제30조제1항 전단에서 “환경부령으로 정하는 폐기물처리시설”이란 법 제29조제2항제1호에 따른 시설을 제외한 다음 각 호의 시설을 말한다.

1. 소각시설
2. 매립시설
3. 멸균분쇄시설
4. 음식물류 폐기물처리시설(음식물류 폐기물에 대한 중간처리 후 새로 발생한 폐기물을 처리하는 시설을 포함한다. 이하 이 조에서 같다)

5. 시멘트 소성로(폐기물을 연료로 사용하는 경우로 한정한다)

6. 소각열회수시설

③ 삭제<2020. 11. 27.>

④ 법 제30조제1항 후단에서 “환경부령으로 정하는 경우”란 다음 각 호의 경우를 말한다.

1. 제39조제3항제2호 및 제4호 부터 제6호까지 규정 중 어느 하나에 해당하여 변경승인을 받은 경우
2. 제40조제3항제3호부터 제5호까지의 규정 중 어느 하나에 해당하여 변경신고를 한 경우

⑤ 법 제30조제2항에서 “환경부령으로 정하는 기간”이란 다음 각 호의 기준일 전후 각각 30일 이내의 기간을 말한다. 다만, 멸균분쇄시설은 제3호의 기간을 말한다.

1. 소각시설, 소각열회수시설 : 최초 정기검사는 사용개시일부터 3년이 되는 날 (「대기환경보전법」 제32조에 따른 측정기기를 설치하고 같은 법 시행령 제19조제1항제1호의 굴뚝원격감시체계관계센터와 연결하여 정상적으로 운영 되는 경우에는 사용개시일부터 5년이 되는 날), 2회 이후의 정기검사는 최종 정기검사일(제8항에 따라 검사결과서를 발급받은 날을 말한다. 이하 같다) 부터 3년이 되는 날
2. 매립시설 : 최초 정기검사는 사용개시일부터 1년이 되는 날, 2회 이후의 정기검사는 최종 정기검사일부터 3년이 되는 날
3. 멸균분쇄시설 : 최초 정기검사는 사용개시일부터 3개월, 2회 이후의 정기검사는 최종 정기검사일부터 3개월
4. 음식물류 폐기물 처리시설 : 최초 정기검사는 사용개시일부터 1년이 되는 날, 2회 이후의 정기검사는 최종 정기검사일부터 1년이 되는 날. 다만, 영 별표 3 제3호다목1)가) 단서에 따른 시설이 다음 각 목에 해당하는 경우에는 다음 각 목의 구분에 따른 날로 한다.

가. 2015년 6월 30일 이전에 설치된 시설로서 2017년 7월 1일 이후 처음 정기검사를 받는 경우: 해당 정기검사가 최초 정기검사이면 사용개시일부터 3년이 되는 날, 2회 이후의 정기검사이면 최종 정기검사일부터 3년이 되는 날. 다만, 그 사용개시일 또는 최종 정기검사일부터 3년이 되는 날이 2018년 4월 1일부터 2019년 6월 30일까지에 해당하는 경우에는 2019년 7월 1일로 한다.

- 나. 2018년 3월 31일 이전에 설치된 시설로서 2019년 7월 1일 이후 처음 정기검사를 받는 경우(가목 단서에 해당하는 경우는 제외한다): 해당 정기검사가 최초 정기검사이면 사용개시일(대통령령 제26297호 폐기물관리법 시행령 일부개정령 부칙 제2조에 해당하는 시설의 경우 사용신고일)부터 2년이 되는 날, 2회 이후의 정기검사이면 최종 정기검사일부터 2년이 되는 날
5. 시멘트 소성로: 최초 정기검사는 사용개시일부터 3년이 되는 날(「대기환경보전법」 제32조에 따른 측정기기를 설치하고 같은 법 시행령 제19조제1항 제1호의 굴뚝 원격감시체계 관제센터와 연결하여 정상적으로 운영되는 경우에는 사용개시일부터 5년이 되는 날), 2회 이후의 정기검사는 최종 정기검사일부터 3년이 되는 날
- ⑥ 법 제30조에 따른 검사를 위한 검사기준은 별표 10과 같다.
- ⑦ 법 제30조제1항 및 제2항에 따른 검사를 받으려는 자는 검사를 받으려는 날 15일 전까지 별지 제29호서식이나 별지 제30호서식의 검사신청서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 폐기물처리시설 검사기관에 제출해야 한다.
1. 소각시설, 소각열회수시설이나 멸균분쇄시설의 경우
 - 가. 설계도면
 - 나. 폐기물조성비 내용
 - 다. 운전 및 유지관리계획서
 2. 매립시설의 경우
 - 가. 설계도서 및 구조계산서 사본
 - 나. 시방서 및 재료시험성적서 사본
 - 다. 설치 및 장비확보 명세서
 - 라. 환경부장관이 고시하는 사항을 포함한 시설설치의 환경성조사서(면적이 1만 제곱미터 이상이거나 매립용적이 3만 세제곱미터 이상인 매립시설의 경우만 제출한다). 다만, 「환경영향평가법」에 따른 전략환경영향평가 대상사업, 환경영향평가 대상사업 또는 소규모 환경영향평가 대상사업의 경우에는 전략환경영향평가서, 환경영향평가서나 소규모 환경영향평가서로 대체할 수 있다.
 - 마. 종전에 받은 정기검사 결과서 사본(종전에 검사를 받은 경우에 한정한다)
 3. 음식물류 폐기물 처리시설의 경우
 - 가. 설계도면

- 나. 운전 및 유지관리계획서(물질수지도를 포함한다)
 - 다. 재활용제품의 사용 또는 공급계획서(재활용의 경우만 제출한다)
4. 시멘트 소성로의 경우
- 가. 설계도면
 - 나. 폐기물 성질·상태, 양, 조성비 내용
 - 다. 운전 및 유지관리계획서
- ⑧ 폐기물처리시설 검사기관은 법 제30조제1항 및 제2항에 따른 검사를 마치면 지체 없이 별지 제31호서식이나 별지 제32호서식의 검사결과서를 검사를 신청한 자에게 내주어야 한다.
 - ⑨ 멸균분쇄시설의 검사는 아포균 검사로 하고, 그 밖의 세부검사방법은 국립환경과학원장이 정하여 고시한다.
 - ⑩ 폐기물처리시설 검사기관의 장은 분기별 검사실적을 별지 제33호서식 또는 별지 제34호서식에 따라 매 분기 다음달 20일까지 국립환경과학원장에게 보고하고, 검사결과서 복사본이나 그 밖에 검사와 관련된 서류를 5년간 보존해야 한다.
 - ⑪ 국립환경과학원장은 제10항에 따라 폐기물처리시설 검사기관으로부터 보고받은 검사실적을 반기별로 취합하여 다음 각 호의 구분에 따른 기한까지 환경부장관에게 제출해야 한다.
 - 1. 상반기 검사실적: 7월 30일까지
 - 2. 하반기 검사실적: 다음 해 1월 31일까지

폐기물관리법 시행규칙 일부개정령안 입법예고 내용 (환경부공고 제2022-112호, 2022년 3월 4일)

1. 개정이유 및 주요내용

열분해를 통한 폐합성수지 재활용 기반을 마련하고, 공사장 생활폐기물 관리 체계를 개선하며, 폐플라스틱 식품용기 재활용 기준의 근거를 마련하는 등 폐기물 관련 정책 추진을 뒷받침하고, 그간 제도 운영과정에서 제기된 개선·보완 필요사항들을 반영하려는 것임.

2. 주요내용

마. 열분해(가스화) 재활용시설 사용신고 및 검사 등 규정 마련(안 제41조, [별표 10], [별지 제27호 서식], [별지 제29호 서식], [별지 제31호 서식], [별지 제33호 서식])

- 열분해(가스화)시설을 소각시설이 아닌 재활용시설의 하나로 별도 분류하게 되면서 폐기물처리시설 사용신고 및 검사 대상으로 추가하고, 관련기준을 정비

- 시설의 특성을 반영하여 사용신고 및 검사에 관한 기준 재설정

차. 열분해(가스화) 재활용 유형 추가(안 [별표4의2])

- 재생이용할 수 있는 상태로 만들거나 재생이용하는 유형(R-3)에 열분해 등의 공정을 통해 석유 및 석유화학제품의 원료 물질로 제조하는 경우를 추가

- 열적 처리방법으로 기체 연료를 만드는 경우에 수소를 만드는 경우도 포함됨을 명시

폐기물관리법 시행규칙 일부개정령안

제41조제1항제2호에 사목을 다음과 같이 신설한다.

사. 열분해시설(가스화시설을 포함한다. 이하 같다)

제41조제2항에 제7호를 다음과 같이 신설한다.

7. 열분해시설

제41조제5항제1호 중 “소각열회수시설”을 “소각열회수시설, 열분해시설”로 하고, 같은 조 제7항제1호 중 “소각열회수시설”을 “소각열회수시설, 열분해시설”로 한다.

별표 5의3 제2호나목1)다)에 (2), (3) 및 (4)를 다음과 같이 신설한다.

(2) 폐합성고분자화합물 등을 열분해하여 생산한 열분해유는 폐기물에 관한 공정시험기준, 한국산업표준에 따른 시험방법 또는 대기오염물질에 관한 공정시험기준에 따른 시험결과가 다음의 기준에 적합해야 한다.

- (가) 남은 탄소: 무게비율로 0.15퍼센트 이하
- (나) 수분 및 침전물: 부피비율로 0.5퍼센트 이하
- (다) 회분[灰分: 유기질이 회화(灰化)된 뒤에 남은 무기물 또는 불연성 잔류물]: 무게비율로 0.05퍼센트 이하
- (라) 황분(黃分: 석탄 등에 불순물로 들어 있는 물질로서 유기 유황, 황산염 등으로 이루어진 것): 무게비율로 0.2퍼센트 이하
- (마) 카드뮴 및 그 화합물: 리터당 1밀리그램 이하
- (바) 납 및 그 화합물: 리터당 1밀리그램 이하
- (사) 크로뮴 및 그 화합물: 리터당 1밀리그램 이하
- (아) 비소 및 그 화합물: 리터당 1밀리그램 이하

별표 9 제3호 다목에 4)를 다음과 같이 신설한다.

4) 열분해시설

- 가) 열분해시설은 폐기물투입장치·열분해실·응축설비·비용축성 열분해가스 연소실(이하 “연소실”이라 한다) 또는 배기가스 처리설비·유류저장설비 및 열회수장치가 설치되어야 한다.
- 나) 연소실·열분해실의 예열 및 온도를 조절할 수 있도록 버너 등 충분한 용량의 연소장치를 설치해야 한다.
- 다) 굴뚝을 설치하는 경우에는 통풍력과 배기가스의 대기확산을 고려한 높이와 구조를 가져야 한다.
- 라) 폭발사고와 화재 등에 대비한 안전한 구조여야 하며, 소화기 등 필요한 장비를 갖추어야 한다.
- 마) 연소실·열분해실에는 시설 내의 압력변화를 감지할 수 있는 압력 측정계를 설치해야 한다.
- 바) 연소실·열분해실의 최종 출구에는 출구온도 측정공을 설치하고, 각 시설의 출구온도 변화를 연속적으로 기록할 수 있는 자동온도기록계를 붙여야 한다.
- 사) 열분해시설은 열분해실 내부로의 외부 공기유입을 차단하고 반응온도 및 압력(가압 또는 감압을 실시하는 경우에 한정한다)을 적정하게 유지할 수 있는 설비여야 한다.
- 아) 폐기물 투입구 및 청소구는 고온에 견딜 수 있는 재질로 만들어야 하며, 외부공기가 흘러 들어오거나 열분해가스가 새어 나가는 것을 방지할 수 있는 구조여야 하고, 고형잔재물의 제거 시 재의 흠날림을 방지할 수 있는 구조여야 한다.
- 자) 회수된 열분해유의 중량은 초기 투입 폐기물 중량의 50퍼센트 이상이 될 수

있어야 한다(가스화시설에는 적용하지 않는다).

차) 시설규모, 처분대상 폐기물의 종류, 열분해방식, 설계·시공자명 및 연락처 등 필요한 사항을 지워지지 않고 파손되지 않는 방법으로 표시한 표지를 붙여야 한다.

별표 10에 제7호를 다음과 같이 신설한다.

7. 열분해시설

구 분	검 사 항 목
설치검사	○ 열분해(가스화를 포함한다. 이하 같다)능력의 적절성 및 적절열분해 상태 유지 여부 ○ 열분해유 회수량 적절 여부 ○ 굴뚝의 통풍력 및 구조의 적절성 ○ 폭발사고와 화재 등에 대비한 구조인지 여부 ○ 압력측정계 설치 여부 및 작동상태 ○ 출구온도 측정공, 온도지시계, 온도기록계 설치 여부 및 작동상태 ○ 배출가스의 연속측정·기록장치 작동상태 ○ 폐기물의 투입구 및 청소구의 내열성, 구조 및 공기유입·유출 여부 ○ 고형잔재물의 흘날림 방지조치 여부 ○ 표지판 부착 여부 및 기재사항
정기검사	○ 적절 열분해상태 유지 여부 ○ 소방장비 설치 및 관리실태 ○ 배기가스온도 적절 여부 ○ 열분해유 회수량 ○ 설치검사 당시와 같은 설비·구조를 유지하고 있는지 여부

➤ 폐기물관리법의 재활용 유형

- R-8 : 에너지를 직접 회수하는 활동
- R-9 : 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 재활용 유형
- R-8-1 : 시멘트소성로의 보조연료로 사용하는 활동
- R-8-2 : 소각열회수시설을 통해 에너지회수기준에 적합하게 에너지를 회수하는 활동
- R-9-1 : 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행규칙” 별표7에서 정하는 기준에 적합한 고형연료제품을 만드는 유형
- R-9-2 : 정제, 유화 등의 방법으로 정제 연료유나 재생연료유 등 유류를 만들거나 유화 정제 연료유를 사용하는 유형
- R-9-3 : 열분해, 탄화 등의 과정을 거쳐 액체, 기체 및 고체상의 연료를 만드는 유형
- R-9-4 : 혐기성 소화, 분해 등 생물학적 처리방법으로 기체, 액체상의 연료를 만드는 유형
- R-9-5 : 화력발전소, 열병합발전소의 연료로 사용하는 유형

2. 산업안전보건법의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 조항

[산업안전보건기준에 관한 규칙]

제2장 폭발·화재 및 위험물누출에 의한 위험방지

제1절 위험물 등의 취급 등

제225조(위험물질 등의 제조 등 작업 시의 조치) 사업주는 별표 1의 위험물질(이하 “위험물”이라 한다)을 제조하거나 취급하는 경우에 폭발·화재 및 누출을 방지하기 위한 적절한 방호조치를 하지 아니하고 다음 각 호의 행위를 해서는 아니 된다.

1. 폭발성 물질, 유기과산화물을 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 가열하거나 마찰시키거나 충격을 가하는 행위
2. 물반응성 물질, 인화성 고체를 각각 그 특성에 따라 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 발화를 촉진하는 물질 또는 물에 접촉시키거나 가열하거나 마찰시키거나 충격을 가하는 행위
3. 산화성 액체·산화성 고체를 분해가 촉진될 우려가 있는 물질에 접촉시키거나 가열하거나 마찰시키거나 충격을 가하는 행위
4. 인화성 액체를 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 주입 또는 가열하거나 증발시키는 행위
5. 인화성 가스를 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 압축·가열 또는 주입하는 행위
6. 부식성 물질 또는 급성 독성물질을 누출시키는 등으로 인체에 접촉시키는 행위
7. 위험물을 제조하거나 취급하는 설비가 있는 장소에 인화성 가스 또는 산화성 액체 및 산화성 고체를 방지하는 행위

제226조(물과의 접촉 금지) 사업주는 별표 1 제2호의 물반응성 물질·인화성 고체를 취급하는 경우에는 물과의 접촉을 방지하기 위하여 완전 밀폐된 용기에 저장 또는 취급하거나 빗물 등이 스며들지 아니하는 건축물 내에 보관 또는 취급하여야 한다.

제227조(호스 등을 사용한 인화성 액체 등의 주입) 사업주는 위험물을 액체 상태에서 호스 또는 배관 등을 사용하여 별표 7의 화학설비, 탱크로리, 드럼 등에 주입하는 작업을 하는 경우에는 그 호스 또는 배관 등의 결합부를 확실히 연결하고 누출이 없는지를 확인한 후에 작업을 하여야 한다.

제228조(가솔린이 남아 있는 설비에 등유 등의 주입) 사업주는 별표 7의 화학설비로서

가솔린이 남아 있는 화학설비(위험물을 저장하는 것으로 한정한다. 이하 이 조와 제229조에서 같다), 탱크로리, 드럼 등에 등유나 경유를 주입하는 작업을 하는 경우에는 미리 그 내부를 깨끗하게 씻어내고 가솔린의 증기를 불활성 가스로 바꾸는 등 안전한 상태로 되어 있는지를 확인한 후에 그 작업을 하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 조치를 하는 경우에는 그러하지 아니하다.

1. 등유나 경유를 주입하기 전에 탱크·드럼 등과 주입설비 사이에 접속선이나 접지선을 연결하여 전위차를 줄이도록 할 것
2. 등유나 경유를 주입하는 경우에는 그 액표면의 높이가 주입관의 선단의 높이를 넘을 때까지 주입속도를 초당 1미터 이하로 할 것

제229조(산화에틸렌 등의 취급) ① 사업주는 산화에틸렌, 아세트알데히드 또는 산화프로필렌을 별표 7의 화학설비, 탱크로리, 드럼 등에 주입하는 작업을 하는 경우에는 미리 그 내부의 불활성가스가 아닌 가스나 증기를 불활성가스로 바꾸는 등 안전한 상태로 되어 있는 지를 확인한 후에 해당 작업을 하여야 한다.

② 사업주는 산화에틸렌, 아세트알데히드 또는 산화프로필렌을 별표 7의 화학설비, 탱크로리, 드럼 등에 저장하는 경우에는 항상 그 내부의 불활성가스가 아닌 가스나 증기를 불활성가스로 바꾸어 놓는 상태에서 저장하여야 한다.

제230조(폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리) ① 사업주는 다음 각 호의 장소에 대하여 폭발위험장소의 구분도(區分圖)를 작성하는 경우에는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준에 따라 가스폭발 위험장소 또는 분진폭발 위험장소로 설정하여 관리하여야 한다.

1. 인화성 액체의 증기나 인화성 가스 등을 제조·취급 또는 사용하는 장소
 2. 인화성 고체를 제조·사용하는 장소
- ② 사업주는 제1항에 따른 폭발위험장소의 구분도를 작성·관리하여야 한다.

제231조(인화성 액체 등을 수시로 취급하는 장소) ① 사업주는 인화성 액체, 인화성 가스 등을 수시로 취급하는 장소에서는 환기가 충분하지 않은 상태에서 전기기계·기구를 작동시켜서는 아니 된다.

② 사업주는 수시로 밀폐된 공간에서 스프레이 건을 사용하여 인화성 액체로 세척·도장 등의 작업을 하는 경우에는 다음 각 호의 조치를 하고 전기기계·기구를 작동시켜야 한다.

1. 인화성 액체, 인화성 가스 등으로 폭발위험 분위기가 조성되지 않도록 해당 물질의 공기 중 농도가 인화하한계값의 25퍼센트를 넘지 않도록 충분히 환기를 유지할 것
2. 조명 등은 고무, 실리콘 등의 패킹이나 실링재료를 사용하여 완전히 밀봉할 것

3. 가열성 전기기계·기구를 사용하는 경우에는 세척 또는 도장용 스프레이 건과 동시에 작동되지 않도록 연동장치 등의 조치를 할 것
4. 방폭구조 외의 스위치와 콘센트 등의 전기기기는 밀폐 공간 외부에 설치되어 있을 것
- ③ 사업주는 제1항과 제2항에도 불구하고 방폭성능을 갖는 전기기계·기구에 대해서는 제1항의 상태 및 제2항 각 호의 조치를 하지 아니한 상태에서도 작동시킬 수 있다.

제232조(폭발 또는 화재 등의 예방) ① 사업주는 인화성 액체의 증기, 인화성 가스 또는 인화성 고체가 존재하여 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서 해당 증기·가스 또는 분진에 의한 폭발 또는 화재를 예방하기 위해 환풍기, 배풍기(排風機) 등 환기장치를 적절하게 설치해야 한다.

② 사업주는 제1항에 따른 증기나 가스에 의한 폭발이나 화재를 미리 감지하기 위하여 가스 검지 및 경보 성능을 갖춘 가스 검지 및 경보 장치를 설치하여야 한다. 다만, 「산업표준화법」의 한국산업표준에 따른 0종 또는 1종 폭발위험장소에 해당하는 경우로서 제311조에 따라 방폭구조 전기기계·기구를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

제233조(가스용접 등의 작업) 사업주는 인화성 가스, 불활성 가스 및 산소(이하 “가스등”이라 한다)를 사용하여 금속의 용접·용단 또는 가열작업을 하는 경우에는 가스등의 누출 또는 방출로 인한 폭발·화재 또는 화상을 예방하기 위해 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.

1. 가스등의 호스와 취관(吹管)은 손상·마모 등에 의하여 가스등이 누출할 우려가 없는 것을 사용할 것
2. 가스등의 취관 및 호스의 상호 접촉부분은 호스밴드, 호스클립 등 조임기구를 사용하여 가스등이 누출되지 않도록 할 것
3. 가스등의 호스에 가스등을 공급하는 경우에는 미리 그 호스에서 가스등이 방출되지 않도록 필요한 조치를 할 것
4. 사용 중인 가스등을 공급하는 공급구의 밸브나 콕에는 그 밸브나 콕에 접속된 가스등의 호스를 사용하는 사람의 이름표를 붙이는 등 가스등의 공급에 대한 오조작을 방지하기 위한 표시를 할 것
5. 용단작업을 하는 경우에는 취관으로부터 산소의 과잉방출로 인한 화상을 예방하기 위하여 근로자가 조절밸브를 서서히 조작하도록 주지시킬 것
6. 작업을 중단하거나 마치고 작업장소를 떠날 경우에는 가스등의 공급구의 밸브나 콕을 잠글 것
7. 가스등의 분기관은 전용 접속기구를 사용하여 불량체결을 방지하여야 하며, 서로

이어지지 않는 구조의 접속기구 사용, 서로 다른 색상의 배관·호스의 사용 및 꼬리표 부착 등을 통하여 서로 다른 가스배관과의 불량체결을 방지할 것

제234조(가스등의 용기) 사업주는 금속의 용접·용단 또는 가열에 사용되는 가스등의 용기를 취급하는 경우에 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 장소에서 사용하거나 해당 장소에 설치·저장 또는 방치하지 않도록 할 것
 - 가. 통풍이나 환기가 불충분한 장소
 - 나. 화기를 사용하는 장소 및 그 부근
 - 다. 위험물 또는 제236조에 따른 인화성 액체를 취급하는 장소 및 그 부근
2. 용기의 온도를 섭씨 40도 이하로 유지할 것
3. 전도의 위험이 없도록 할 것
4. 충격을 가하지 않도록 할 것
5. 운반하는 경우에는 캡을 씌울 것
6. 사용하는 경우에는 용기의 마개에 부착되어 있는 유류 및 먼지를 제거할 것
7. 밸브의 개폐는 서서히 할 것
8. 사용 전 또는 사용 중인 용기와 그 밖의 용기를 명확히 구별하여 보관할 것
9. 용해아세틸렌의 용기는 세워 둘 것
10. 용기의 부식·마모 또는 변형상태를 점검한 후 사용할 것

제235조(서로 다른 물질의 접촉에 의한 발화 등의 방지) 사업주는 서로 다른 물질끼리 접촉함으로써 인하여 해당 물질이 발화하거나 폭발할 위험이 있는 경우에는 해당 물질을 가까이 저장하거나 동일한 운반기에 적재해서는 아니 된다. 다만, 접촉방지를 위한 조치를 한 경우에는 그러하지 아니하다.

제236조(화재 위험이 있는 작업의 장소 등) ① 사업주는 합성섬유·합성수지·면·양모·천조각·톱밥·짚·종이류 또는 인화성이 있는 액체(1기압에서 인화점이 섭씨 250도 미만의 액체를 말한다)를 다량으로 취급하는 작업을 하는 장소·설비 등은 화재예방을 위하여 적절한 배치 구조로 하여야 한다.

② 사업주는 근로자에게 용접·용단 및 금속의 가열 등 화기를 사용하는 작업이나 연삭숫돌에 의한 건식연마작업 등 그 밖에 불꽃이 발생될 우려가 있는 작업(이하 “화재위험작업”이라 한다)을 하도록 하는 경우 제1항에 따른 물질을 화재위험이 없는 장소에 별도로 보관·저장해야 하며, 작업장 내부에는 해당 작업에 필요한 양만 두어야 한다.

제237조(자연발화의 방지) 사업주는 질화면, 알킬알루미늄 등 자연발화의 위험이 있는 물질을 쌓아 두는 경우 위험한 온도로 상승하지 못하도록 화재예방을 위한 조

치를 하여야 한다.

제238조(유류 등이 묻어 있는 걸레 등의 처리) 사업주는 기름 또는 인쇄용 잉크류 등이 묻은 천조각이나 휴지 등은 뚜껑이 있는 불연성 용기에 담아 두는 등 화재 예방을 위한 조치를 하여야 한다.

제2절 화기 등의 관리

제239조(위험물 등이 있는 장소에서 화기 등의 사용 금지) 사업주는 위험물이 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소 또는 그 상부에서 불꽃이나 아크를 발생 하거나 고온으로 될 우려가 있는 화기·기계·기구 및 공구 등을 사용해서는 아니 된다.

제240조(유류 등이 있는 배관이나 용기의 용접 등) 사업주는 위험물, 위험물 외의 인화성 유류 또는 인화성 고체가 있을 우려가 있는 배관·탱크 또는 드럼 등의 용기에 대하여 미리 위험물 외의 인화성 유류, 인화성 고체 또는 위험물을 제거하는 등 폭발이나 화재의 예방을 위한 조치를 한 후가 아니면 화재위험작업을 시켜서는 아니 된다.

제241조(화재위험작업 시의 준수사항) ① 사업주는 통풍이나 환기가 충분하지 않은 장소에서 화재위험작업을 하는 경우에는 통풍 또는 환기를 위하여 산소를 사용해서는 아니 된다.

② 사업주는 가연성물질이 있는 장소에서 화재위험작업을 하는 경우에는 화재예방에 필요한 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 작업 준비 및 작업 절차 수립
2. 작업장 내 위험물의 사용·보관 현황 파악
3. 화기작업에 따른 인근 가연성물질에 대한 방호조치 및 소화기구 비치
4. 용접불티 비산방지덮개, 용접방화포 등 불꽃, 불티 등 비산방지조치
5. 인화성 액체의 증기 및 인화성 가스가 남아 있지 않도록 환기 등의 조치
6. 작업근로자에 대한 화재예방 및 피난교육 등 비상조치

③ 사업주는 작업시작 전에 제2항 각 호의 사항을 확인하고 불꽃·불티 등의 비산을 방지하기 위한 조치 등 안전조치를 이행한 후 근로자에게 화재위험작업을 하도록 해야 한다.

④ 사업주는 화재위험작업이 시작되는 시점부터 종료 될 때까지 작업내용, 작업일시, 안전점검 및 조치에 관한 사항 등을 해당 작업장소에 서면으로 게시해야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 화재위험작업을 하는 경우에는 생략할 수 있다.

제241조의2(화재감시자) ① 사업주는 근로자에게 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 장소에서 용접·용단 작업을 하도록 하는 경우에는 화재감시자를 지정하여 용접·용단 작업 장소에 배치해야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 용접·용단작업을 할 때 경보용 설비·기구, 소화설비 또는 소화기가 갖추어진 경우에는 화재감시자를 지정·배치하지 않을 수 있다.

1. 작업반경 11미터 이내에 건물구조 자체나 내부(개구부 등으로 개방된 부분을 포함한다)에 가연성물질이 있는 장소
2. 작업반경 11미터 이내의 바닥 하부에 가연성물질이 11미터 이상 떨어져 있지만 불꽃에 의해 쉽게 발화될 우려가 있는 장소
3. 가연성물질이 금속으로 된 칸막이·벽·천장 또는 지붕의 반대쪽 면에 인접해 있어 열전도나 열복사에 의해 발화될 우려가 있는 장소

② 제1항 본문에 따른 화재감시자는 다음 각 호의 업무를 수행한다.

1. 제1항 각 호에 해당하는 장소에 가연성물질이 있는지 여부의 확인
2. 제232조제2항에 따른 가스 검지, 경보 성능을 갖춘 가스 검지 및 경보 장치의 작동 여부의 확인
3. 화재 발생 시 사업장 내 근로자의 대피 유도

③ 사업주는 제1항 본문에 따라 배치된 화재감시자에게 업무 수행에 필요한 확성기, 휴대용 조명기구 및 방연마스크 등 대피용 방연장비를 지급해야 한다.

제242조(화기사용 금지) 사업주는 화재 또는 폭발의 위험이 있는 장소에서 다음 각 호의 화재 위험이 있는 물질을 취급하는 경우에는 화기의 사용을 금지해야 한다.

1. 제236조제1항에 따른 물질
2. 별표 1 제1호·제2호 및 제5호에 따른 위험물질

제243조(소화설비) ① 사업주는 건축물, 별표 7의 화학설비 또는 제5절의 위험물 건조설비가 있는 장소, 그 밖에 위험물이 아닌 인화성 유류 등 폭발이나 화재의 원인이 될 우려가 있는 물질을 취급하는 장소(이하 이 조에서 “건축물등”이라 한다)에는 소화설비를 설치하여야 한다.

② 제1항의 소화설비는 건축물등의 규모·넓이 및 취급하는 물질의 종류 등에 따라 예상되는 폭발이나 화재를 예방하기에 적합하여야 한다.

제244조(방화조치) 사업주는 화로, 가열로, 가열장치, 소각로, 철제굴뚝, 그 밖에 화재를 일으킬 위험이 있는 설비 및 건축물과 그 밖에 인화성 액체와의 사이에는 방화에 필요한 안전거리를 유지하거나 불연성 물체를 차열(遮熱)재료로 하여 방호하여야 한다.

제245조(화기사용 장소의 화재 방지) ① 사업주는 흡연장소 및 난로 등 화기를 사용하는

장소에 화재예방에 필요한 설비를 하여야 한다.

② 화기를 사용한 사람은 불티가 남지 않도록 뒤처리를 확실하게 하여야 한다.

제246조(소각장) 사업주는 소각장을 설치하는 경우 화재가 변질 위험이 없는 위치에 설치하거나 불연성 재료로 설치하여야 한다.

제4절 화학설비·압력용기 등

제255조(화학설비를 설치하는 건축물의 구조) 사업주는 별표 7의 화학설비(이하 “화학설비”라 한다) 및 그 부속설비를 건축물 내부에 설치하는 경우에는 건축물의 바닥·벽·기둥·계단 및 지붕 등에 불연성 재료를 사용하여야 한다.

제256조(부식 방지) 사업주는 화학설비 또는 그 배관(화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕은 제외한다) 중 위험물 또는 인화점이 섭씨 60도 이상인 물질(이하 “위험물질등”이라 한다)이 접촉하는 부분에 대해서는 위험물질등에 의하여 그 부분이 부식되어 폭발·화재 또는 누출되는 것을 방지하기 위하여 위험물질등의 종류·온도·농도 등에 따라 부식이 잘 되지 않는 재료를 사용하거나 도장(塗裝) 등의 조치를 하여야 한다.

제257조(덮개 등의 접합부) 사업주는 화학설비 또는 그 배관의 덮개·플랜지·밸브 및 콕의 접합부에 대해서는 접합부에서 위험물질등이 누출되어 폭발·화재 또는 위험물이 누출되는 것을 방지하기 위하여 적절한 개스킷(gasket)을 사용하고 접합면을 서로 밀착시키는 등 적절한 조치를 하여야 한다.

제258조(밸브 등의 개폐방향의 표시 등) 사업주는 화학설비 또는 그 배관의 밸브·콕 또는 이것들을 조작하기 위한 스위치 및 누름버튼 등에 대하여 오조작으로 인한 폭발·화재 또는 위험물의 누출을 방지하기 위하여 열고 닫는 방향을 색채 등으로 표시하여 구분되도록 하여야 한다.

제259조(밸브 등의 재질) 사업주는 화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕에는 개폐의 빈도, 위험물질등의 종류·온도·농도 등에 따라 내구성이 있는 재료를 사용하여야 한다.

제260조(공급 원재료의 종류 등의 표시) 사업주는 화학설비에 원재료를 공급하는 근로자의 오조작으로 인하여 발생하는 폭발·화재 또는 위험물의 누출을 방지하기 위하여 그 근로자가 보기 쉬운 위치에 원재료의 종류, 원재료가 공급되는 설비명 등을 표시하여야 한다.

제261조(안전밸브 등의 설치) ① 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 설비에 대해서는 과압에 따른 폭발을 방지하기 위하여 폭발 방지 성능과 규격을 갖춘 안전

밸브 또는 파열판(이하 “안전밸브등”이라 한다)을 설치하여야 한다. 다만, 안전밸브등에 상응하는 방호장치를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

1. 압력용기(안지름이 150밀리미터 이하인 압력용기는 제외하며, 압력 용기 중 관형 열교환기의 경우에는 관의 파열로 인하여 상승한 압력이 압력용기의 최고사용압력을 초과할 우려가 있는 경우만 해당한다)
 2. 정변위 압축기
 3. 정변위 펌프(토출측에 차단밸브가 설치된 것만 해당한다)
 4. 배관(2개 이상의 밸브에 의하여 차단되어 대기온도에서 액체의 열팽창에 의하여 파열될 우려가 있는 것으로 한정한다)
 5. 그 밖의 화학설비 및 그 부속설비로서 해당 설비의 최고사용압력을 초과할 우려가 있는 것
- ② 제1항에 따라 안전밸브등을 설치하는 경우에는 다단형 압축기 또는 직렬로 접속된 공기압축기에 대해서는 각 단 또는 각 공기압축기별로 안전밸브등을 설치하여야 한다.
- ③ 제1항에 따라 설치된 안전밸브에 대해서는 다음 각 호의 구분에 따른 검사주기마다 국가교정기관에서 교정을 받은 압력계를 이용하여 설정압력에서 안전밸브가 적정하게 작동하는지를 검사한 후 납으로 봉인하여 사용하여야 한다. 다만, 공기나 질소취급용기 등에 설치된 안전밸브 중 안전밸브 자체에 부착된 레버 또는 고리를 통하여 수시로 안전밸브가 적정하게 작동하는지를 확인할 수 있는 경우에는 검사하지 아니할 수 있고 납으로 봉인하지 아니할 수 있다.
1. 화학공정 유체와 안전밸브의 디스크 또는 시트가 직접 접촉될 수 있도록 설치된 경우: 매년 1회 이상
 2. 안전밸브 전단에 파열판이 설치된 경우: 2년마다 1회 이상
 3. 영 제43조에 따른 공정안전보고서 제출 대상으로서 고용노동부장관이 실시하는 공정안전보고서 이행상태 평가결과가 우수한 사업장의 안전밸브의 경우: 4년마다 1회 이상
- ④ 제3항 각 호에 따른 검사주기에 불구하고 안전밸브가 설치된 압력용기에 대하여 「고압가스 안전관리법」 제17조제2항에 따라 시장·군수 또는 구청장의 재검사를 받는 경우로서 압력용기의 재검사주기에 대하여 같은 법 시행규칙 별표22 제2호에 따라 산업통상자원부장관이 정하여 고시하는 기법에 따라 산정하여 그 적합성을 인정받은 경우에는 해당 안전밸브의 검사주기는 그 압력용기의 재검사주기에 따른다.
- ⑤ 사업주는 제3항에 따라 납으로 봉인된 안전밸브를 해체하거나 조정할 수 없도록

조치하여야 한다.

제262조(파열판의 설치) 사업주는 제261조제1항 각 호의 설비가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 파열판을 설치하여야 한다.

1. 반응 폭주 등 급격한 압력 상승 우려가 있는 경우
2. 급성 독성물질의 누출로 인하여 주위의 작업환경을 오염시킬 우려가 있는 경우
3. 운전 중 안전밸브에 이상 물질이 누적되어 안전밸브가 작동되지 아니할 우려가 있는 경우

제263조(파열판 및 안전밸브의 직렬설치) 사업주는 급성 독성물질이 지속적으로 외부에 유출될 수 있는 화학설비 및 그 부속설비에 파열판과 안전밸브를 직렬로 설치하고 그 사이에는 압력지시계 또는 자동경보장치를 설치하여야 한다.

제264조(안전밸브등의 작동요건) 사업주는 제261조제1항에 따라 설치한 안전밸브등이 안전밸브등을 통하여 보호하려는 설비의 최고사용압력 이하에서 작동되도록 하여야 한다. 다만, 안전밸브등이 2개 이상 설치된 경우에 1개는 최고사용압력의 1.05배(외부화재를 대비한 경우에는 1.1배) 이하에서 작동되도록 설치할 수 있다.

제265조(안전밸브등의 배출용량) 사업주는 안전밸브등에 대하여 배출용량은 그 작동 원인에 따라 각각의 소요분출량을 계산하여 가장 큰 수치를 해당 안전밸브등의 배출용량으로 하여야 한다.

제266조(차단밸브의 설치 금지) 사업주는 안전밸브등의 전단·후단에 차단밸브를 설치해서는 아니 된다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 자물쇠형 또는 이에 준하는 형식의 차단밸브를 설치할 수 있다.

1. 인접한 화학설비 및 그 부속설비에 안전밸브등이 각각 설치되어 있고, 해당 화학설비 및 그 부속설비의 연결배관에 차단밸브가 없는 경우
2. 안전밸브등의 배출용량의 2분의 1 이상에 해당하는 용량의 자동압력조절밸브(구동용 동력원의 공급을 차단하는 경우 열리는 구조인 것으로 한정한다)와 안전밸브등이 병렬로 연결된 경우
3. 화학설비 및 그 부속설비에 안전밸브등이 복수방식으로 설치되어 있는 경우
4. 예비용 설비를 설치하고 각각의 설비에 안전밸브등이 설치되어 있는 경우
5. 열팽창에 의하여 상승된 압력을 낮추기 위한 목적으로 안전밸브가 설치된 경우
6. 하나의 플레어 스택(flare stack)에 둘 이상의 단위공정의 플레어 헤더(flare header)를 연결하여 사용하는 경우로서 각각의 단위공정의 플레어헤더에 설치된 차단밸브의 열림·단합 상태를 중앙제어실에서 알 수 있도록 조치한 경우

제267조(배출물질의 처리) 사업주는 안전밸브등으로부터 배출되는 위험물은 연소·

흡수·세정(洗淨)·포집(捕集) 또는 회수 등의 방법으로 처리하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 배출되는 위험물을 안전한 장소로 유도하여 외부로 직접 배출할 수 있다.

1. 배출물질을 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 처리할 때에 파열판의 기능을 저해할 우려가 있는 경우
2. 배출물질을 연소처리할 때에 유해성가스를 발생시킬 우려가 있는 경우
3. 고압상태의 위험물이 대량으로 배출되어 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 완전히 처리할 수 없는 경우
4. 공정설비가 있는 지역과 떨어진 인화성 가스 또는 인화성 액체 저장탱크에 안전밸브등이 설치될 때에 저장탱크에 냉각설비 또는 자동소화설비 등 안전상의 조치를 하였을 경우
5. 그 밖에 배출량이 적거나 배출 시 급격히 분산되어 재해의 우려가 없으며, 냉각설비 또는 자동소화설비를 설치하는 등 안전상의 조치를 하였을 경우

제268조(통기설비) ① 사업주는 인화성 액체를 저장·취급하는 대기압탱크에는 통기관 또는 통기밸브(breather valve) 등(이하 “통기설비”라 한다)을 설치하여야 한다.

② 제1항에 따른 통기설비는 정상운전 시에 대기압탱크 내부가 진공 또는 가압되지 않도록 충분한 용량의 것을 사용하여야 하며, 철저하게 유지·보수를 하여야 한다.

제269조(화염방지기의 설치 등) ① 사업주는 인화성 액체 및 인화성 가스를 저장·취급하는 화학설비에서 증기나 가스를 대기로 방출하는 경우에는 외부로부터의 화염을 방지하기 위하여 화염방지기를 그 설비 상단에 설치하여야 한다. 다만, 대기로 연결된 통기관에 통기밸브가 설치되어 있거나, 인화점이 섭씨 38도 이상 60도 이하인 인화성 액체를 저장·취급할 때에 화염방지 기능을 가지는 인화방지망을 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

② 사업주는 제1항의 화염방지기를 설치하는 경우에는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준에서 정하는 화염방지장치 기준에 적합한 것을 설치하여야 하며, 항상 철저하게 보수·유지하여야 한다.

제270조(내화기준) ① 사업주는 제230조제1항에 따른 가스폭발 위험장소 또는 분진폭발 위험장소에 설치되는 건축물 등에 대해서는 다음 각 호에 해당하는 부분을 내화구조로 하여야 하며, 그 성능이 항상 유지될 수 있도록 점검·보수 등 적절한 조치를 하여야 한다. 다만, 건축물 등의 주변에 화재에 대비하여 물 분무시설 또는 폼 헤드(foam head)설비 등의 자동소화설비를 설치하여 건축물 등이 화재시에 2시간 이상 그 안전성을 유지할 수 있도록 한 경우에는 내화구조로 하지 아니할 수 있다.

1. 건축물의 기둥 및 보: 지상 1층(지상 1층의 높이가 6미터를 초과하는 경우에는

6미터)까지

2. 위험물 저장·취급용기의 지지대(높이가 30센티미터 이하인 것은 제외한다): 지상으로부터 지지대의 끝부분까지
3. 배관·전선관 등의 지지대: 지상으로부터 1단(1단의 높이가 6미터를 초과하는 경우에는 6미터)까지

② 내화재료는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준에 적합하거나 그 이상의 성능을 가지는 것이어야 한다.

제271조(안전거리) 사업주는 별표 1 제1호부터 제5호까지의 위험물을 저장·취급하는 화학설비 및 그 부속설비를 설치하는 경우에는 폭발이나 화재에 따른 피해를 줄일 수 있도록 별표 8에 따라 설비 및 시설 간에 충분한 안전거리를 유지하여야 한다. 다만, 다른 법령에 따라 안전거리 또는 보유공지를 유지하거나, 법 제44조에 따른 공정안전보고서를 제출하여 피해최소화를 위한 위험성 평가를 통하여 그 안전성을 확인받은 경우에는 그러하지 아니하다.

제272조(방유제 설치) 사업주는 별표 1 제4호부터 제7호까지의 위험물을 액체상태로 저장하는 저장탱크를 설치하는 경우에는 위험물질이 누출되어 확산되는 것을 방지하기 위하여 방유제(防油堤)를 설치하여야 한다.

제273조(계측장치 등의 설치) 사업주는 별표 9에 따른 위험물을 같은 표에서 정한 기준량 이상으로 제조하거나 취급하는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 화학설비(이하 “특수화학설비”라 한다)를 설치하는 경우에는 내부의 이상 상태를 조기에 파악하기 위하여 필요한 온도계·유량계·압력계 등의 계측장치를 설치하여야 한다.

1. 발열반응이 일어나는 반응장치
2. 증류·정류·증발·추출 등 분리를 하는 장치
3. 가열시켜 주는 물질의 온도가 가열되는 위험물질의 분해온도 또는 발화점보다 높은 상태에서 운전되는 설비
4. 반응폭주 등 이상 화학반응에 의하여 위험물질이 발생할 우려가 있는 설비
5. 온도가 섭씨 350도 이상이거나 게이지 압력이 980킬로파스칼 이상인 상태에서 운전되는 설비
6. 가열로 또는 가열기

제274조(자동경보장치의 설치 등) 사업주는 특수화학설비를 설치하는 경우에는 그 내부의 이상 상태를 조기에 파악하기 위하여 필요한 자동경보장치를 설치하여야 한다. 다만, 자동경보장치를 설치하는 것이 곤란한 경우에는 감시인을 두고 그 특수화학설비의 운전 중 설비를 감시하도록 하는 등의 조치를 하여야 한다.

제275조(긴급차단장치의 설치 등) ① 사업주는 특수화학설비를 설치하는 경우에는

이상 상태의 발생에 따른 폭발·화재 또는 위험물의 누출을 방지하기 위하여 원재료 공급의 긴급차단, 제품 등의 방출, 불활성가스의 주입이나 냉각용수 등의 공급을 위하여 필요한 장치 등을 설치하여야 한다.

② 제1항의 장치 등은 안전하고 정확하게 조작할 수 있도록 보수·유지되어야 한다.

제276조(예비동력원 등) 사업주는 특수화학설비와 그 부속설비에 사용하는 동력원에 대하여 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 동력원의 이상에 의한 폭발이나 화재를 방지하기 위하여 즉시 사용할 수 있는 예비동력원을 갖추어 둘 것
2. 밸브·콧·스위치 등에 대해서는 오조작을 방지하기 위하여 잠금장치를 하고 색채표시 등으로 구분할 것

제277조(사용 전의 점검 등) ① 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 화학설비 및 그 부속설비의 안전검사내용을 점검한 후 해당 설비를 사용하여야 한다.

1. 처음으로 사용하는 경우
2. 분해하거나 개조 또는 수리를 한 경우
3. 계속하여 1개월 이상 사용하지 아니한 후 다시 사용하는 경우

② 사업주는 제1항의 경우 외에 해당 화학설비 또는 그 부속설비의 용도를 변경하는 경우(사용하는 원재료의 종류를 변경하는 경우를 포함한다)에도 해당 설비의 다음 각 호의 사항을 점검한 후 사용하여야 한다.

1. 그 설비 내부에 폭발이나 화재의 우려가 있는 물질이 있는지 여부
2. 안전밸브·긴급차단장치 및 그 밖의 방호장치 기능의 이상 유무
3. 냉각장치·가열장치·교반장치·압축장치·계측장치 및 제어장치 기능의 이상 유무

제278조(개조·수리 등) 사업주는 화학설비와 그 부속설비의 개조·수리 및 청소 등을 위하여 해당 설비를 분해하거나 해당 설비의 내부에서 작업을 하는 경우에는 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 작업책임자를 정하여 해당 작업을 지휘하도록 할 것
2. 작업장소에 위험물 등이 누출되거나 고온의 수증기가 새어나오지 않도록 할 것
3. 작업장 및 그 주변의 인화성 액체의 증기나 인화성 가스의 농도를 수시로 측정할 것

제279조(대피 등) ① 사업주는 폭발이나 화재에 의한 산업재해발생의 급박한 위험이 있는 경우에는 즉시 작업을 중지하고 근로자를 안전한 장소로 대피시켜야 한다.

② 사업주는 제1항의 경우에 근로자가 산업재해를 입을 우려가 없음이 확인될 때까지 해당 작업장에 관계자가 아닌 사람의 출입을 금지하고, 그 취지를 보기 쉬운 장소에 표시하여야 한다.

3. 위험물안전관리법의 폐플라스틱 열분해 설비 관련 조항

[위험물안전관리법]

제2조(정의)

① 이 법에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “위험물”이라 함은 인화성 또는 발화성 등의 성질을 가지는 것으로서 대통령령이 정하는 물품을 말한다.
2. “지정수량”이라 함은 위험물의 종류별로 위험성을 고려하여 대통령령이 정하는 수량으로서 제6호의 규정에 의한 제조소등의 설치허가 등에 있어서 최저의 기준이 되는 수량을 말한다.
3. “제조소”라 함은 위험물을 제조할 목적으로 지정수량 이상의 위험물을 취급하기 위하여 제6조제1항의 규정에 따른 허가(동조제3항의 규정에 따라 허가가 면제된 경우 및 제7조제2항의 규정에 따라 협의로써 허가를 받은 것으로 보는 경우를 포함한다. 이하 제4호 및 제5호에서 같다)를 받은 장소를 말한다.
4. “저장소”라 함은 지정수량 이상의 위험물을 저장하기 위한 대통령령이 정하는 장소로서 제6조제1항의 규정에 따른 허가를 받은 장소를 말한다.
5. “취급소”라 함은 지정수량 이상의 위험물을 제조외의 목적으로 취급하기 위한 대통령령이 정하는 장소로서 제6조제1항의 규정에 따른 허가를 받은 장소를 말한다.
6. “제조소등”이라 함은 제3호 내지 제5호의 제조소·저장소 및 취급소를 말한다.

② 이 법에서 사용하는 용어의 정의는 제1항에서 규정하는 것을 제외하고는 「소방기본법」, 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 및 「소방시설 공사업법」에서 정하는 바에 따른다.

제5조(위험물의 저장 및 취급의 제한) ① 지정수량 이상의 위험물을 저장소가 아닌 장소에서 저장하거나 제조소등이 아닌 장소에서 취급하여서는 아니된다.

② 제1항의 규정에 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 제조소등이 아닌 장소에서 지정수량 이상의 위험물을 취급할 수 있다. 이 경우 임시로 저장 또는 취급하는 장소에서의 저장 또는 취급의 기준과 임시로 저장 또는 취급하는 장소의 위치·구조 및 설비의 기준은 시·도의 조례로 정한다.

1. 시·도의 조례가 정하는 바에 따라 관할소방서장의 승인을 받아 지정수량 이상의

위험물을 90일 이내의 기간동안 임시로 저장 또는 취급하는 경우

2. 군부대가 지정수량 이상의 위험물을 군사목적으로 임시로 저장 또는 취급하는 경우
- ③ 제조소등에서의 위험물의 저장 또는 취급에 관하여는 다음 각 호의 중요기준 및 세부기준에 따라야 한다.

1. 중요기준 : 화재 등 위해의 예방과 응급조치에 있어서 큰 영향을 미치거나 그 기준을 위반하는 경우 직접적으로 화재를 일으킬 가능성이 큰 기준으로서 **행정안전부령이 정하는 기준**

※ 위험물안전관리법 시행규칙 제49조(제조소등에서의 위험물의 저장 및 취급의 기준)
 위험물안전관리법 시행규칙 별표 18: 제조소등에서의 위험물의 저장 및 취급에 관한 기준

2. 세부기준 : 화재 등 위해의 예방과 응급조치에 있어서 중요기준보다 상대적으로 적은 영향을 미치거나 그 기준을 위반하는 경우 간접적으로 화재를 일으킬 수 있는 기준 및 위험물의 안전관리에 필요한 표시와 서류·기구 등의 비치에 관한 기준으로서 **행정안전부령이 정하는 기준**

※ 위험물안전관리법 시행규칙 제28조(제조소의 기준), 별표4
 ※ 위험물안전관리법 시행규칙 제29조(옥내저장소의 기준), 별표5
 ※ 위험물안전관리법 시행규칙 제30조(옥외탱크저장소의 기준), 별표6
 ※ 위험물안전관리법 시행규칙 제31조(옥내탱크저장소의 기준), 별표7

- ④ 제1항의 규정에 따른 제조소등의 위치·구조 및 설비의 기술기준은 행정안전부령으로 정한다.

- ⑤ 둘 이상의 위험물을 같은 장소에서 저장 또는 취급하는 경우에 있어서 당해 장소에서 저장 또는 취급하는 각 위험물의 수량을 그 위험물의 지정수량으로 각각 나누어 얻은 수의 합계가 1 이상인 경우 당해 위험물은 지정수량 이상의 위험물로 본다.

제6조(위험물시설의 설치 및 변경 등)

- ① 제조소등을 설치하고자 하는 자는 대통령령이 정하는 바에 따라 그 설치 장소를 관할하는 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 “시·도지사”라 한다)의 허가를 받아야 한다. 제조소등의 위치·구조 또는 설비 가운데 행정안전부령이 정하는 사항을 변경하고자 하는 때에도 또한 같다.
- ② 제조소등의 위치·구조 또는 설비의 변경 없이 당해 제조소등에서 저장하거나 취급하는 위험물의 품명·수량 또는 지정수량의 배수를 변경하고자 하는 자는 변경하고자 하는 날의 1일 전까지 행정안전부령이 정하는 바에 따라 시·도지사에게 신고하여야 한다.

③ 제1항 및 제2항의 규정에 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 제조소 등의 경우에는 허가를 받지 아니하고 당해 제조소등을 설치하거나 그 위치·구조 또는 설비를 변경할 수 있으며, 신고를 하지 아니하고 위험물의 품명·수량 또는 지정수량의 배수를 변경할 수 있다.

1. 주택의 난방시설(공동주택의 중앙난방시설을 제외한다)을 위한 저장소 또는 취급소
2. 농예용·축산용 또는 수산용으로 필요한 난방시설 또는 건조시설을 위한 지정수량 20배 이하의 저장소

제18조(정기점검 및 정기검사)

- ① 대통령령이 정하는 제조소등의 관계인은 그 제조소등에 대하여 행정안전부령이 정하는 바에 따라 제5조제4항의 규정에 따른 기술기준에 적합한지의 여부를 정기적으로 점검하고 점검결과를 기록하여 보존하여야 한다.
- ② 제1항에 따라 정기점검을 한 제조소등의 관계인은 점검을 한 날부터 30일 이내에 점검결과를 시·도지사에게 제출하여야 한다.
- ③ 제1항에 따른 정기점검의 대상이 되는 제조소등의 관계인 가운데 대통령령으로 정하는 제조소등의 관계인은 행정안전부령으로 정하는 바에 따라 소방본부장 또는 소방서장으로부터 해당 제조소등이 제5조제4항에 따른 기술기준에 적합하게 유지되고 있는지의 여부에 대하여 정기적으로 검사를 받아야 한다

[위험물안전관리법 시행령]

제6조(제조소등의 설치 및 변경의 허가)

- ① 법 제6조제1항에 따라 제조소등의 설치허가 또는 변경허가를 받으려는 자는 설치허가 또는 변경허가신청서에 행정안전부령으로 정하는 서류를 첨부하여 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 “시·도지사”라 한다)에게 제출하여야 한다.

제16조(정기점검의 대상인 제조소등)

법 제18조제1항에서 “대통령령이 정하는 제조소등”이라 함은 다음 각호의 1에 해당하는 제조소등을 말한다.

1. 제15조 각호의 1에 해당하는 제조소등

1. 지정수량의 10배 이상의 위험물을 취급하는 제조소
2. 지정수량의 100배 이상의 위험물을 저장하는 옥외저장소
3. 지정수량의 150배 이상의 위험물을 저장하는 옥내저장소
4. 지정수량의 200배 이상의 위험물을 저장하는 옥외탱크저장소
5. 암반탱크저장소
6. 이송취급소
7. 지정수량의 10배 이상의 위험물을 취급하는 일반취급소.
 다만, 제4류 위험물(특수인화물을 제외한다)만을 지정수량의 50배 이하로 취급하는 일반취급소(제1석유류·알코올류의 취급량이 지정수량의 10배 이하인 경우에 한한다)로서 다음 각목의 어느 하나에 해당하는 것을 제외한다.
 가. 보일러·버너 또는 이와 비슷한 것으로서 위험물을 소비하는 장치로 이루어진 일반취급소
 나. 위험물을 용기에 옮겨 담거나 차량에 고정된 탱크에 주입하는 일반취급소

2. 지하탱크저장소
3. 이동탱크저장소
4. 위험물을 취급하는 탱크로서 지하에 매설된 탱크가 있는 제조소·주유취급소 또는 일반취급소

제17조(정기검사의 대상인 제조소등)

법 제18조제3항에서 “대통령령으로 정하는 제조소등”이란 액체위험물을 저장 또는 취급하는 50만리터 이상의 옥외탱크저장소를 말한다.

[위험물안전관리법 시행규칙]

제6조(제조소등의 설치허가의 신청)

「위험물안전관리법」(이하 “법”이라 한다) 제6조제1항 전단 및 영 제6조제1항에 따라 제조소등의 설치허가를 받으려는 자는 별지 제1호서식 또는 별지 제2호 서식의 신청서(전자문서로 된 신청서를 포함한다)에 다음 각 호의 서류(전자문서를 포함한다)를 첨부하여 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 “시·도지사”라 한다)나 소방서장에게 제출하여야 한다. 다만, 「전자정부법」 제36조제1항에 따른 행정정보의 공동이용을 통하여 첨부서류에 대한 정보를 확인할 수 있는 경우에는 그 확인으로 첨부서류에 갈음할 수 있다.

1. 다음 각목의 사항을 기재한 제조소등의 위치·구조 및 설비에 관한 도면
 - 가. 당해 제조소등을 포함하는 사업소 안 및 주위의 주요 건축물과 공작물의 배치
 - 나. 당해 제조소등이 설치된 건축물 안에 제조소등의 용도로 사용되지 아니하는 부분이 있는 경우 그 부분의 배치 및 구조
 - 다. 당해 제조소등을 구성하는 건축물, 공작물 및 기계·기구 그 밖의 설비의 배치 (제조소 또는 일반취급소의 경우에는 공정의 개요를 포함한다)
 - 라. 당해 제조소등에서 위험물을 저장 또는 취급하는 건축물, 공작물 및 기계·기구 그 밖의 설비의 구조(주유취급소의 경우에는 별표 13 V 제1호 각목의 규정에 의한 건축물 및 공작물의 구조를 포함한다)
 - 마. 당해 제조소등에 설치하는 전기설비, 피뢰설비, 소화설비, 경보설비 및 피난설비의 개요
 - 바. 압력안전장치·누설점검장치 및 긴급차단밸브 등 긴급대책에 관계된 설비를 설치하는 제조소등의 경우에는 당해 설비의 개요
2. 당해 제조소등에 해당하는 별지 제3호서식 내지 별지 제15호서식에 의한 구조설비명세표
3. 소화설비(소화기구를 제외한다)를 설치하는 제조소등의 경우에는 당해 설비의 설계도서
4. 화재탐지설비를 설치하는 제조소등의 경우에는 당해 설비의 설계도서
5. 50만리터 이상의 옥외탱크저장소의 경우에는 당해 옥외탱크저장소의 탱크(이하 “옥외저장탱크”라 한다)의 기초·지반 및 탱크본체의 설계도서, 공사계획서, 공사공정표, 지질조사자료 등 기초·지반에 관하여 필요한 자료와 용접부에 관한 설명서 등 탱크에 관한 자료
6. 암반탱크저장소의 경우에는 당해 암반탱크의 탱크본체·갱도(坑道) 및 배관 그 밖의 설비의 설계도서, 공사계획서, 공사공정표 및 지질·수리(水理)조사서
7. 옥외저장탱크가 지중탱크(저부가 지반면 아래에 있고 상부가 지반면 이상에 있으며 탱크내 위험물의 최고액면이지반면 아래에 있는 원통중형식의 위험물탱크를 말한다. 이하 같다)인 경우에는 당해 지중탱크의 지반 및 탱크본체의 설계도서, 공사계획서, 공사공정표의 설계도서, 공사계획서, 공사공정표 및 지질조사자료 등 지반에 관한 자료
8. 옥외저장탱크가 해상탱크[해상의 동일장소에 정치(定置)되어 육상에 설치된 설비와 배관 등에 의하여 접속된 위험물탱크를 말한다. 이하 같다]인 경우에는 당해 해상탱크의 탱크본체·정치설비(해상탱크를 동일장소에 정치하기 위한 설비를 말한

- 다. 이하 같다) 그 밖의 설비의 설계도서, 공사계획서 및 공사공정표
9. 이송취급소의 경우에는 공사계획서, 공사공정표 및 별표 1의 규정에 의한 서류
10. 「소방산업의 진흥에 관한 법률」 제14조에 따른 한국소방산업기술원(이하 “기술원”라 한다)이 발급한 기술검토서(영 제6조제3항의 규정에 의하여 기술원의 기술검토를 미리 받은 경우에 한한다)

■ 위험물안전관리법 시행규칙 [별표 4] <개정 2021. 10. 21.>

제조소의 위치·구조 및 설비의 기준(제28조관련)

I. 안전거리

1. 제조소(제6류 위험물을 취급하는 제조소를 제외한다)는 다음 각목의 규정에 의한 건축물의 외벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측으로부터 당해 제조소의 외벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측까지의 사이에 다음 각목의 규정에 의한 수평거리(이하 "안전거리"라 한다)를 두어야 한다.
 - 가. 나목 내지 라목의 규정에 의한 것 외의 건축물 그 밖의 공작물로서 주거용으로 사용되는 것(제조소가 설치된 부지내에 있는 것을 제외한다)에 있어서는 10m 이상
 - 나. 학교·병원·극장 그 밖에 다수인을 수용하는 시설로서 다음의 1에 해당하는 것에 있어서는 30m 이상
 - 1) 「초·중등교육법」 제2조 및 「고등교육법」 제2조에 정하는 학교
 - 2) 「의료법」 제3조제2항제3호에 따른 병원급 의료기관
 - 3) 「공연법」 제2조제4호에 따른 공연장, 「영화 및 비디오물의 진흥에 관한 법률」 제2조제10호에 따른 영화상영관 및 그 밖에 이와 유사한 시설로서 3백명 이상의 인원을 수용할 수 있는 것
 - 4) 「아동복지법」 제3조제10호에 따른 아동복지시설, 「노인복지법」 제31조제1호부터 제3호까지에 해당하는 노인복지시설, 「장애인복지법」 제58조제1항에 따른 장애인복지시설, 「한부모가족지원법」 제19조제1항에 따른 한부모가족복지시설, 「영유아보육법」 제2조제3호에 따른 어린이집, 「성매매 방지 및 피해자보호 등에 관한 법률」 제9조제1항에 따른 성매매피해자등을 위한 지원시설, 「정신건강증진 및 정신질환자 복지서비스 지원에 관한 법률」 제3조제4호에 따른 정신건강증진시설, 「가정폭력방지 및 피해자보호 등에 관한 법률」 제7조의2제1항에 따른 보호시설 및 그 밖에 이와 유사한 시설로서 20명 이상의 인원을 수용할 수 있는 것
 - 다. 「문화재보호법」의 규정에 의한 유형문화재와 기념물 중 지정문화재에 있어서는 50m 이상
 - 라. 고압가스, 액화석유가스 또는 도시가스를 저장 또는 취급하는 시설로서 다음의 1에 해당하는 것에 있어서는 20m 이상. 다만, 당해 시설의 배관 중 제조소가 설치된 부지 내에 있는 것은 제외한다.

- 1) 「고압가스 안전관리법」의 규정에 의하여 허가를 받거나 신고를 하여야 하는 고압가스제조시설(용기에 충전하는 것을 포함한다) 또는 고압가스 사용시설로서 1일 30m³ 이상의 용적을 취급하는 시설이 있는 것
 - 2) 「고압가스 안전관리법」의 규정에 의하여 허가를 받거나 신고를 하여야 하는 고압가스저장시설
 - 3) 「고압가스 안전관리법」의 규정에 의하여 허가를 받거나 신고를 하여야 하는 액화산소를 소비하는 시설
 - 4) 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」의 규정에 의하여 허가를 받아야 하는 액화석유가스제조시설 및 액화석유가스저장시설
 - 5) 「도시가스사업법」제2조제5호의 규정에 의한 가스공급시설
- 마. 사용전압이 7,000V 초과 35,000V 이하의 특고압가공전선에 있어서는 3m 이상
- 바. 사용전압이 35,000V를 초과하는 특고압가공전선에 있어서는 5m 이상
2. 제1호가목 내지 다목의 규정에 의한 건축물 등은 부표의 기준에 의하여 불연 재료로 된 방화상 유효한 담 또는 벽을 설치하는 경우에는 동표의 기준에 의하여 안전거리를 단축할 수 있다.

II. 보유공지

1. 위험물을 취급하는 건축물 그 밖의 시설(위험물을 이송하기 위한 배관 그 밖에 이와 유사한 시설을 제외한다)의 주위에는 그 취급하는 위험물의 최대수량에 따라 다음 표에 의한 너비의 공지를 보유하여야 한다.

취급하는 위험물의 최대수량	공지의 너비
지정수량의 10배 이하	3m 이상
지정수량의 10배 초과	5m 이상

2. 제조소의 작업공정이 다른 작업장의 작업공정과 연속되어 있어, 제조소의 건축물 그 밖의 공작물의 주위에 공지를 두게 되면 그 제조소의 작업에 현저한 지장이 생길 우려가 있는 경우 당해 제조소와 다른 작업장 사이에 다음 각목의 기준에 따라 방화상 유효한 격벽(隔壁)을 설치한 때에는 당해 제조소와 다른 작업장 사이에 제1호의 규정에 의한 공지를 보유하지 아니할 수 있다.

- 가. 방화벽은 내화구조로 할 것, 다만 취급하는 위험물이 제6류 위험물인 경우에는 불연재료로 할 수 있다.
- 나. 방화벽에 설치하는 출입구 및 창 등의 개구부는 가능한 한 최소로 하고, 출입구 및 창에는 자동폐쇄식의 감종방화문을 설치할 것

- 다. 방화벽의 양단 및 상단이 외벽 또는 지붕으로부터 50cm 이상 돌출하도록 할 것

III. 표지 및 게시판

1. 제조소에는 보기 쉬운 곳에 다음 각목의 기준에 따라 "위험물 제조소"라는 표시를 한 표지를 설치하여야 한다.
 - 가. 표지는 한변의 길이가 0.3m 이상, 다른 한변의 길이가 0.6m 이상인 직사각형으로 할 것
 - 나. 표지의 바탕은 백색으로, 문자는 흑색으로 할 것
2. 제조소에는 보기 쉬운 곳에 다음 각목의 기준에 따라 방화에 관하여 필요한 사항을 게시한 게시판을 설치하여야 한다.
 - 가. 게시판은 한변의 길이가 0.3m 이상, 다른 한변의 길이가 0.6m 이상인 직사각형으로 할 것
 - 나. 게시판에는 저장 또는 취급하는 위험물의 유별·품명 및 저장최대수량 또는 취급최대수량, 지정수량의 배수 및 안전관리자의 성명 또는 직명을 기재할 것
 - 다. 나목의 게시판의 바탕은 백색으로, 문자는 흑색으로 할 것
 - 라. 나목의 게시판 외에 저장 또는 취급하는 위험물에 따라 다음의 규정에 의한 주의사항을 표시한 게시판을 설치할 것
 - 1) 제1류 위험물 중 알칼리금속의 과산화물과 이를 함유한 것 또는 제3류 위험물 중 금수성물질에 있어서는 "물기엄금"
 - 2) 제2류 위험물(인화성고체를 제외한다)에 있어서는 "화기주의"
 - 3) 제2류 위험물 중 인화성고체, 제3류 위험물 중 자연발화성물질, 제4류 위험물 또는 제5류 위험물에 있어서는 "화기엄금"
 - 마. 라목의 게시판의 색은 "물기엄금"을 표시하는 것에 있어서는 청색바탕에 백색문자로, "화기주의" 또는 "화기엄금"을 표시하는 것에 있어서는 적색바탕에 백색문자로 할 것

IV. 건축물의 구조

- 위험물을 취급하는 건축물의 구조는 다음 각호의 기준에 의하여야 한다.
1. 지하층이 없도록 하여야 한다. 다만, 위험물을 취급하지 아니하는 지하층으로서 위험물의 취급장소에서 새어나온 위험물 또는 가연성의 증기가 흘러 들어갈 우려가 없는 구조로 된 경우에는 그러하지 아니하다.
 2. 벽·기둥·바닥·보·서까래 및 계단을 불연재료로 하고, 연소(延燒)의 우려가

있는 외벽(소방청장이 정하여 고시하는 것에 한한다. 이하 같다)은 출입구 외의 개구부가 없는 내화구조의 벽으로 하여야 한다. 이 경우 제6류 위험물을 취급하는 건축물에 있어서 위험물이 스며들 우려가 있는 부분에 대하여는 아스팔트 그 밖에 부식되지 아니하는 재료로 피복하여야 한다.

3. 지붕(작업공정상 제조기계시설 등이 2층 이상에 연결되어 설치된 경우에는 최상층의 지붕을 말한다)은 폭발력이 위로 방출될 정도의 가벼운 불연재료로 덮어야 한다. 다만, 위험물을 취급하는 건축물이 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 그 지붕을 내화구조로 할 수 있다.

가. 제2류 위험물(분말상태의 것과 인화성고체를 제외한다), 제4류 위험물 중 제4석유류·동식물유류 또는 제6류 위험물을 취급하는 건축물인 경우

나. 다음의 기준에 적합한 밀폐형 구조의 건축물인 경우

- 1) 발생할 수 있는 내부의 과압(過壓) 또는 부압(負壓)에 견딜 수 있는 철근콘크리트조일 것

- 2) 외부화재에 90분 이상 견딜 수 있는 구조일 것

4. 출입구와 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제17조에 따라 설치하여야 하는 비상구에는 갑종방화문 또는 을종방화문을 설치하되, 연소의 우려가 있는 외벽에 설치하는 출입구에는 수시로 열 수 있는 자동폐쇄식의 갑종방화문을 설치하여야 한다.

5. 위험물을 취급하는 건축물의 창 및 출입구에 유리를 이용하는 경우에는 망입 유리(두꺼운 판유리에 철망을 넣은 것)로 하여야 한다.

6. 액체의 위험물을 취급하는 건축물의 바닥은 위험물이 스며들지 못하는 재료를 사용하고, 적당한 경사를 두어 그 최저부에 집유설비를 하여야 한다.

V. 채광·조명 및 환기설비

1. 위험물을 취급하는 건축물에는 다음 각목의 기준에 의하여 위험물을 취급하는데 필요한 채광·조명 및 환기의 설비를 설치하여야 한다.

가. 채광설비는 불연재료로 하고, 연소의 우려가 없는 장소에 설치하되 채광면적을 최소로 할 것

나. 조명설비는 다음의 기준에 적합하게 설치할 것

- 1) 가연성가스 등이 체류할 우려가 있는 장소의 조명등은 방폭등(防爆燈)으로 할 것

- 2) 전선은 내화·내열전선으로 할 것

- 3) 점멸스위치는 출입구 바깥부분에 설치할 것. 다만, 스위치의 스파크로

인한 화재·폭발의 우려가 없을 경우에는 그러하지 아니하다.

다. 환기설비는 다음의 기준에 의할 것

- 1) 환기는 자연배기방식으로 할 것
- 2) 급기구는 당해 급기구가 설치된 실의 바닥면적 150㎡마다 1개 이상으로 하되, 급기구의 크기는 800㎢ 이상으로 할 것. 다만 바닥면적이 150㎡ 미만인 경우에는 다음의 크기로 하여야 한다.

바닥면적	급기구의 면적
60㎡ 미만	150㎢ 이상
60㎡ 이상 90㎡ 미만	300㎢ 이상
90㎡ 이상 120㎡ 미만	450㎢ 이상
120㎡ 이상 150㎡ 미만	600㎢ 이상

- 3) 급기구는 낮은 곳에 설치하고 가는 눈의 구리망 등으로 인화방지망을 설치할 것
 - 4) 환기구는 지붕위 또는 지상 2m 이상의 높이에 회전식 고정벤티레이터 또는 루프팬 방식(roof fan: 지붕에 설치하는 배기장치)으로 설치할 것
2. 배출설비가 설치되어 유효하게 환기가 되는 건축물에는 환기설비를 하지 아니할 수 있고, 조명설비가 설치되어 유효하게 조도(밝기)가 확보되는 건축물에는 채광설비를 하지 아니할 수 있다.

VI. 배출설비

가연성의 증기 또는 미분이 체류할 우려가 있는 건축물에는 그 증기 또는 미분을 옥외의 높은 곳으로 배출할 수 있도록 다음 각호의 기준에 의하여 배출설비를 설치하여야 한다.

1. 배출설비는 국소방식으로 하여야 한다. 다만, 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 전역방식으로 할 수 있다.
 - 가. 위험물취급설비가 배관이음 등으로만 된 경우
 - 나. 건축물의 구조·작업장소의 분포 등의 조건에 의하여 전역방식이 유효한 경우
2. 배출설비는 배풍기(오염된 공기를 뽑아내는 통풍기)·배출 덕트(공기 배출 통로)·후드 등을 이용하여 강제적으로 배출하는 것으로 해야 한다.
3. 배출능력은 1시간당 배출장소 용적의 20배 이상인 것으로 하여야 한다. 다만, 전역방식의 경우에는 바닥면적 1㎡당 18㎡ 이상으로 할 수 있다.
4. 배출설비의 급기구 및 배출구는 다음 각목의 기준에 의하여야 한다.
 - 가. 급기구는 높은 곳에 설치하고, 가는 눈의 구리망 등으로 인화방지망을 설

치할 것

- 나. 배출구는 지상 2m 이상으로서 연소의 우려가 없는 장소에 설치하고, 배출 덕트가 관통하는 벽부분의 바로 가까이에 화재시 자동으로 폐쇄되는 방화 댐퍼(화재 시 연기 등을 차단하는 장치)를 설치할 것
5. 배풍기는 강제배기방식으로 하고, 옥내 덕트의 내압이 대기압 이상이 되지 아니하는 위치에 설치하여야 한다.

VII. 옥외설비의 바닥

옥외에서 액체위험물을 취급하는 설비의 바닥은 다음 각호의 기준에 의하여야 한다.

1. 바닥의 둘레에 높이 0.15m 이상의 턱을 설치하는 등 위험물이 외부로 흘러 나가지 아니하도록 하여야 한다.
2. 바닥은 콘크리트 등 위험물이 스며들지 아니하는 재료로 하고, 제1호의 턱이 있는 쪽이 낮게 경사지게 하여야 한다.
3. 바닥의 최저부에 집유설비를 하여야 한다.
4. 위험물(온도 20℃의 물 100g에 용해되는 양이 1g 미만인 것에 한한다)을 취급하는 설비에 있어서는 당해 위험물이 직접 배수구에 흘러들어가지 아니 하도록 집유설비에 유분리장치를 설치하여야 한다.

VIII. 기타설비

1. 위험물의 누출·비산방지
위험물을 취급하는 기계·기구 그 밖의 설비는 위험물이 새거나 넘치거나 비산(飛散)하는 것을 방지할 수 있는 구조로 하여야 한다. 다만, 당해 설비에 위험물의 누출 등으로 인한 재해를 방지할 수 있는 부대설비(되돌림관·수막 등)를 한 때에는 그러하지 아니하다.
2. 가열·냉각설비 등의 온도측정장치
위험물을 가열하거나 냉각하는 설비 또는 위험물의 취급에 수반하여 온도변화가 생기는 설비에는 온도측정장치를 설치하여야 한다.
3. 가열건조설비
위험물을 가열 또는 건조하는 설비는 직접 불을 사용하지 아니하는 구조로 하여야 한다. 다만, 당해 설비가 방화상 안전한 장소에 설치되어 있거나 화재를 방지할 수 있는 부대설비를 한 때에는 그러하지 아니하다.
4. 압력계 및 안전장치

위험물을 가압하는 설비 또는 그 취급하는 위험물의 압력이 상승할 우려가 있는 설비에는 압력계 및 다음 각목의 1에 해당하는 안전장치를 설치하여야 한다. 다만, 라목의 파괴판은 위험물의 성질에 따라 안전밸브의 작동이 곤란한 가압설비에 한한다.

가. 자동적으로 압력의 상승을 정지시키는 장치

나. 감압측에 안전밸브를 부착한 감압밸브

다. 안전밸브를 겸하는 경보장치

라. 파괴판

5. 전기설비

제조소에 설치하는 전기설비는 「전기사업법」에 의한 전기설비기술기준에 의하여야 한다.

6. 정전기 제거설비

위험물을 취급함에 있어서 정전기가 발생할 우려가 있는 설비에는 다음 각목의 1에 해당하는 방법으로 정전기를 유효하게 제거할 수 있는 설비를 설치하여야 한다.

가. 접지에 의한 방법

나. 공기 중의 상대습도를 70% 이상으로 하는 방법

다. 공기를 이온화하는 방법

7. 피뢰설비

지정수량의 10배 이상의 위험물을 취급하는 제조소(제6류 위험물을 취급하는 위험물제조소를 제외한다)에는 피뢰침(「산업표준화법」 제12조에 따른 한국 산업표준 중 피뢰설비 표준에 적합한 것을 말한다. 이하 같다)을 설치하여야 한다. 다만, 제조소의 주위의 상황에 따라 안전상 지장이 없는 경우에는 피뢰침을 설치하지 아니할 수 있다.

8. 전동기 등

전동기 및 위험물을 취급하는 설비의 펌프·밸브·스위치 등은 화재예방상 지장이 없는 위치에 부착하여야 한다.

IX. 위험물 취급탱크

1. 위험물제조소의 옥외에 있는 위험물취급탱크(용량이 지정수량의 5분의 1 미만인 것을 제외한다)는 다음 각목의 기준에 의하여 설치하여야 한다.

가. 옥외에 있는 위험물취급탱크의 구조 및 설비는 별표 6 VI제1호(특정옥외 저장탱크 및 준특정옥외저장탱크와 관련되는 부분을 제외한다)·제3호 내지

제9호·제11호 내지 제14호 및 XIV의 규정에 의한 옥외탱크저장소의 탱크의 구조 및 설비의 기준을 준용할 것

나. 옥외에 있는 위험물취급탱크로서 액체위험물(이황화탄소를 제외한다)을 취급하는 것의 주위에는 다음의 기준에 의하여 방유제를 설치할 것

- 1) 하나의 취급탱크 주위에 설치하는 방유제의 용량은 당해 탱크용량의 50% 이상으로 하고, 2 이상의 취급탱크 주위에 하나의 방유제를 설치하는 경우 그 방유제의 용량은 당해 탱크 중 용량이 최대인 것의 50%에 나머지 탱크용량 합계의 10%를 가산한 양 이상이 되게 할 것. 이 경우 방유제의 용량은 당해 방유제의 내용적에서 용량이 최대인 탱크 외의 탱크의 방유제 높이 이하 부분의 용적, 당해 방유제 내에 있는 모든 탱크의 지반면 이상 부분의 기초의 체적, 간막이 독의 체적 및 당해 방유제 내에 있는 배관 등의 체적을 뺀 것으로 한다.
- 2) 방유제의 구조 및 설비는 별표 6 IX제1호 나목·사목·차목·카목 및 파목의 규정에 의한 옥외저장탱크의 방유제의 기준에 적합하게 할 것

2. 위험물제조소의 옥내에 있는 위험물취급탱크(용량이 지정수량의 5분의 1 미만인 것을 제외한다)는 다음 각목의 기준에 의하여 설치하여야 한다.

가. 탱크의 구조 및 설비는 별표 7 I제1호 마목 내지 자목 및 카목 내지 파목의 규정에 의한 옥내탱크저장소의 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크의 구조 및 설비의 기준을 준용할 것

나. 위험물취급탱크의 주위에는 턱(이하 "방유턱"이라고 한다)을 설치하는 등 위험물이 누설된 경우에 그 유출을 방지하기 위한 조치를 할 것. 이 경우 당해조치는 탱크에 수납하는 위험물의 양(하나의 방유턱안에 2 이상의 탱크가 있는 경우는 당해 탱크 중 실제로 수납하는 위험물의 양이 최대인 탱크의 양)을 전부 수용할 수 있도록 하여야 한다.

3. 위험물제조소의 지하에 있는 위험물취급탱크의 위치·구조 및 설비는 별표 8 I(제5호·제11호 및 제14호를 제외한다), II(I 제5호·제11호 및 제14호의 규정을 적용하도록 하는 부분을 제외한다) 또는 III(I 제5호·제11호 및 제14호의 규정을 적용하도록 하는 부분을 제외한다)의 규정에 의한 지하탱크저장소의 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크의 위치·구조 및 설비의 기준에 준하여 설치하여야 한다.

X. 배관

위험물제조소내의 위험물을 취급하는 배관은 다음 각호의 기준에 의하여 설치

하여야 한다.

1. 배관의 재질은 강관 그 밖에 이와 유사한 금속성으로 하여야 한다. 다만, 다음 각 목의 기준에 적합한 경우에는 그러하지 아니하다.
 - 가. 배관의 재질은 한국산업규격의 유리섬유강화플라스틱·고밀도폴리에틸렌 또는 폴리우레탄으로 할 것
 - 나. 배관의 구조는 내관 및 외관의 이중으로 하고, 내관과 외관의 사이에는 틈새공간을 두어 누설여부를 외부에서 쉽게 확인할 수 있도록 할 것. 다만, 배관의 재질이 취급하는 위험물에 의해 쉽게 열화될 우려가 없는 경우에는 그러하지 아니하다.
 - 다. 국내 또는 국외의 관련공인시험기관으로부터 안전성에 대한 시험 또는 인증을 받을 것
 - 라. 배관은 지하에 매설할 것. 다만, 화재 등 열에 의하여 쉽게 변형될 우려가 없는 재질이거나 화재 등 열에 의한 악영향을 받을 우려가 없는 장소에 설치되는 경우에는 그러하지 아니하다.
2. 배관에 걸리는 최대상용압력의 1.5배 이상의 압력으로 내압시험(불연성의 액체 또는 기체를 이용하여 실시하는 시험을 포함한다)을 실시하여 누설 그 밖의 이상이 없는 것으로 하여야 한다.
3. 배관을 지상에 설치하는 경우에는 지진·풍압·지반침하 및 온도변화에 안전한 구조의 지지물에 설치하되, 지면에 닿지 아니하도록 하고 배관의 외면에 부식 방지를 위한 도장을 하여야 한다. 다만, 불변강관 또는 부식의 우려가 없는 재질의 배관의 경우에는 부식방지를 위한 도장을 아니할 수 있다.
4. 배관을 지하에 매설하는 경우에는 다음 각목의 기준에 적합하게 하여야 한다.
 - 가. 금속성 배관의 외면에는 부식방지를 위하여 도장·복장·코팅 또는 전기방식등의 필요한 조치를 할 것
 - 나. 배관의 접합부분(용접에 의한 접합부 또는 위험물의 누설의 우려가 없다고 인정되는 방법에 의하여 접합된 부분을 제외한다)에는 위험물의 누설여부를 점검할 수 있는 점검구를 설치할 것
 - 다. 지면에 미치는 중량이 당해 배관에 미치지 아니하도록 보호할 것
5. 배관에 가열 또는 보온을 위한 설비를 설치하는 경우에는 화재예방상 안전한 구조로 하여야 한다.

XI. 고인화점 위험물의 제조소의 특례

인화점이 100℃ 이상인 제4류 위험물(이하 "고인화점위험물"이라 한다)만을

100℃ 미만의 온도에서 취급하는 제조소로서 그 위치 및 구조가 다음 각호의 기준에 모두 적합한 제조소에 대하여는 I, II, IV제1호, IV제3호 내지 제5호, VIII제6호·제7호 및 IX제1호나목2)에 의하여 준용되는 별표 6 IX제1호 나목의 규정을 적용하지 아니한다.

1. 다음 각목의 규정에 의한 건축물의 외벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측으로부터 당해 제조소의 외벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측까지의 사이에 다음 각목의 규정에 의한 안전거리를 두어야 한다. 다만, 가목 내지 다목의 규정에 의한 건축물 등에 부표의 기준에 의하여 불연재료로 된 방화상 유효한 담 또는 벽을 설치하여 소방본부장 또는 소방서장이 안전하다고 인정하는 거리로 할 수 있다.
 - 가. 나목 내지 라목 외의 건축물 그 밖의 공작물로서 주거용으로 제공하는 것 (제조소가 있는 부지와 동일한 부지내에 있는 것을 제외한다)에 있어서는 10m 이상
 - 나. I 제1호 나목1) 내지 4)의 규정에 의한 시설에 있어서는 30m 이상
 - 다. 「문화재보호법」의 규정에 의한 유형문화재와 기념물 중 지정문화재에 있어서는 50m 이상
 - 라. I 제1호 라목1) 내지 5)의 규정에 의한 시설(불활성 가스만을 저장 또는 취급하는 것을 제외한다)에 있어서는 20m 이상
2. 위험물을 취급하는 건축물 그 밖의 공작물(위험물을 이송하기 위한 배관 그 밖에 이에 준하는 공작물을 제외한다)의 주위에 3m 이상의 너비의 공지를 보유하여야 한다. 다만, II제2호 각목의 규정에 의하여 방화상 유효한 격벽을 설치하는 경우에는 그러하지 아니하다.
3. 위험물을 취급하는 건축물은 그 지붕을 불연재료로 하여야 한다.
4. 위험물을 취급하는 건축물의 창 및 출입구에는 을종방화문·갑종방화문 또는 불연재료나 유리로 만든 문을 달고, 연소의 우려가 있는 외벽에 두는 출입구에는 수시로 열 수 있는 자동폐쇄식의 갑종방화문을 설치하여야 한다.
5. 위험물을 취급하는 건축물의 연소의 우려가 있는 외벽에 두는 출입구에 유리를 이용하는 경우에는 망입유리로 하여야 한다.

XII. 위험물의 성질에 따른 제조소의 특례

1. 다음 각목의 1에 해당하는 위험물을 취급하는 제조소에 있어서는 I 내지 VIII의 규정에 의한 기준에 의하는 외에 당해 위험물의 성질에 따라 제2호 내지 제4조의 기준에 의하여야 한다.

- 가. 제3류 위험물 중 알킬알루미늄·알킬리튬 또는 이중 어느 하나 이상을 함유하는 것(이하 "알킬알루미늄등"이라 한다)
 - 나. 제4류 위험물중 특수인화물의 아세트알데히드·산화프로필렌 또는 이중 어느 하나 이상을 함유하는 것(이하 "아세트알데히드등"이라 한다)
 - 다. 제5류 위험물 중 히드록실아민·히드록실아민염류 또는 이중 어느 하나 이상을 함유하는 것(이하 "히드록실아민등"이라 한다)
2. 알킬알루미늄등을 취급하는 제조소의 특례는 다음 각목과 같다.
- 가. 알킬알루미늄등을 취급하는 설비의 주위에는 누설범위를 국한하기 위한 설비와 누설된 알킬알루미늄등을 안전한 장소에 설치된 저장실에 유입시킬수 있는 설비를 갖추는 것
 - 나. 알킬알루미늄등을 취급하는 설비에는 불활성기체를 봉입하는 장치를 갖추는 것
3. 아세트알데히드등을 취급하는 제조소의 특례는 다음 각목과 같다.
- 가. 아세트알데히드등을 취급하는 설비는 은·수은·동·마그네슘 또는 이들을 성분으로 하는 합금으로 만들지 아니할 것
 - 나. 아세트알데히드등을 취급하는 설비에는 연소성 혼합기체의 생성에 의한 폭발을 방지하기 위한 불활성기체 또는 수증기를 봉입하는 장치를 갖추는 것
 - 다. 아세트알데히드등을 취급하는 탱크(옥외에 있는 탱크 또는 옥내에 있는 탱크로서 그 용량이 지정수량의 5분의 1 미만의 것을 제외한다)에는 냉각장치 또는 저온을 유지하기 위한 장치(이하 "보냉장치"라 한다) 및 연소성 혼합기체의 생성에 의한 폭발을 방지하기 위한 불활성기체를 봉입하는 장치를 갖추는 것. 다만, 지하에 있는 탱크가 아세트알데히드등의 온도를 저온으로 유지할 수 있는 구조인 경우에는 냉각장치 및 보냉장치를 갖추지 아니할 수 있다.
- 라. 다목의 규정에 의한 냉각장치 또는 보냉장치는 2 이상 설치하여 하나의 냉각장치 또는 보냉장치가 고장난 때에도 일정 온도를 유지할 수 있도록 하고, 다음의 기준에 적합한 비상전원을 갖추는 것
- 1) 상용전력원이 고장인 경우에 자동으로 비상전원으로 전환되어 가동되도록 할 것
 - 2) 비상전원의 용량은 냉각장치 또는 보냉장치를 유효하게 작동할 수 있는 정도일 것
- 마. 아세트알데히드등을 취급하는 탱크를 지하에 매설하는 경우에는 IX제3호의 규정에 의하여 적용되는 별표 8 I 제1호 단서의 규정에 불구하고 당해 탱크를 탱크전용실에 설치할 것

4. 히드록실아민등을 취급하는 제조소의 특례는 다음 각목과 같다.

- 가. I 제1호가목부터 라목까지의 규정에도 불구하고 지정수량 이상의 히드록실아민등을 취급하는 제조소의 위치는 I 제1호가목부터 라목까지의 규정에 의한 건축물의 벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측으로부터 해당 제조소의 외벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측까지의 사이에 다음 식에 의하여 요구되는 거리 이상의 안전거리를 둘 것

$$D = 51.1 \sqrt[3]{N}$$

D : 거리(m)

N : 해당 제조소에서 취급하는 히드록실아민등의 지정수량의 배수

나. 가목의 제조소의 주위에는 다음에 정하는 기준에 적합한 담 도는 토제(土堤)를 설치할 것

- 1) 담 또는 토제는 당해 제조소의 외벽 또는 이에 상당하는 공작물의 외측으로부터 2m 이상 떨어진 장소에 설치할 것
 - 2) 담 또는 토제의 높이는 당해 제조소에 있어서 히드록실아민등을 취급하는 부분의 높이 이상으로 할 것
 - 3) 담은 두께 15cm 이상의 철근콘크리트조·철골철근콘크리트조 또는 두께 20cm 이상의 보강콘크리트블록조로 할 것
 - 4) 토제의 경사면의 경사도는 60도 미만으로 할 것
- 다. 히드록실아민등을 취급하는 설비에는 히드록실아민등의 온도 및 농도의 상승에 의한 위험한 반응을 방지하기 위한 조치를 강구할 것
- 라. 히드록실아민등을 취급하는 설비에는 철이온 등의 혼입에 의한 위험한 반응을 방지하기 위한 조치를 강구할 것

■ 위험물안전관리법 시행규칙 [별표 18] <개정 2021. 7. 13.>

제조소등에서의 위험물의 저장 및 취급에 관한 기준(제49조관련)

I. 저장·취급의 공통기준

1. 제조소등에서 법 제6조제1항의 규정에 의한 허가 및 법 제6조제2항의 규정에 의한 신고와 관련되는 품명 외의 위험물 또는 이러한 허가 및 신고와 관련되는 수량 또는 지정수량의 배수를 초과하는 위험물을 저장 또는 취급하지 아니하여야 한다(중요기준).
2. 삭제 <2009.3.17>
3. 삭제 <2009.3.17>

4. 삭제 <2009.3.17>
5. 삭제 <2009.3.17>
6. 삭제 <2009.3.17>
7. 위험물을 저장 또는 취급하는 건축물 그 밖의 공작물 또는 설비는 당해 위험물의 성질에 따라 차광 또는 환기를 실시하여야 한다.
8. 위험물은 온도계, 습도계, 압력계 그 밖의 계기를 감시하여 당해 위험물의 성질에 맞는 적절한 온도, 습도 또는 압력을 유지하도록 저장 또는 취급하여야 한다.
9. 삭제 <2009.3.17>
10. 위험물을 저장 또는 취급하는 경우에는 위험물의 변질, 이물의 혼입 등에 의하여 당해 위험물의 위험성이 증대되지 아니하도록 필요한 조치를 강구하여야 한다.
11. 위험물이 남아 있거나 남아 있을 우려가 있는 설비, 기계·기구, 용기 등을 수리하는 경우에는 안전한 장소에서 위험물을 완전하게 제거한 후에 실시하여야 한다.
12. 위험물을 용기에 수납하여 저장 또는 취급할 때에는 그 용기는 당해 위험물의 성질에 적응하고 파손·부식·균열 등이 없는 것으로 하여야 한다.
13. 삭제 <2009.3.17>
14. 가연성의 액체·증기 또는 가스가 새거나 체류할 우려가 있는 장소 또는 가연성의 미분이 현저하게 부유할 우려가 있는 장소에서는 전선과 전기기구를 완전히 접속하고 불꽃을 발하는 기계·기구·공구·신발 등을 사용하지 아니하여야 한다.
15. 위험물을 보호액중에 보존하는 경우에는 당해 위험물이 보호액으로부터 노출되지 아니하도록 하여야 한다.

II. 위험물의 유별 저장·취급의 공통기준(중요기준)

1. 제1류 위험물은 가연물과의 접촉·혼합이나 분해를 촉진하는 물품과의 접근 또는 과열·충격·마찰 등을 피하는 한편, 알칼리금속의 과산화물 및 이를 함유한 것에 있어서는 물과의 접촉을 피하여야 한다.
2. 제2류 위험물은 산화제와의 접촉·혼합이나 불티·불꽃·고온체와의 접근 또는 과열을 피하는 한편, 철분·금속분·마그네슘 및 이를 함유한 것에 있어서는 물이나 산과의 접촉을 피하고 인화성 고체에 있어서는 함부로 증기를 발생시키지 아니하여야 한다.

3. 제3류 위험물 중 자연발화성물질에 있어서는 불티·불꽃 또는 고온체와의 접근·과열 또는 공기와의 접촉을 피하고, 금수성물질에 있어서는 물과의 접촉을 피하여야 한다.
4. 제4류 위험물은 불티·불꽃·고온체와의 접근 또는 과열을 피하고, 함부로 증기를 발생시키지 아니하여야 한다.
5. 제5류 위험물은 불티·불꽃·고온체와의 접근이나 과열·충격 또는 마찰을 피하여야 한다.
6. 제6류 위험물은 가연물과의 접촉·혼합이나 분해를 촉진하는 물품과의 접근 또는 과열을 피하여야 한다.
7. 제1호 내지 제6호의 기준은 위험물을 저장 또는 취급함에 있어서 당해 각 호의 기준에 의하지 아니하는 것이 통상인 경우는 당해 각호를 적용하지 아니한다. 이 경우 당해 저장 또는 취급에 대하여는 재해의 발생을 방지하기 위한 충분한 조치를 강구하여야 한다.

III. 저장의 기준

1. 저장소에는 위험물 외의 물품을 저장하지 아니하여야 한다. 다만, 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다(중요기준).
 - 가. 옥내저장소 또는 옥외저장소에서 다음의 규정에 의한 위험물과 위험물이 아닌 물품을 함께 저장하는 경우. 이 경우 위험물과 위험물이 아닌 물품은 각각 모아서 저장하고 상호간에는 1m 이상의 간격을 두어야 한다.
 - 1) 위험물(제2류 위험물 중 인화성고체와 제4류 위험물을 제외한다)과 영 별표 1에서 당해 위험물이 속하는 품명란에 정한 물품(동표 제1류의 품명란 제11호, 제2류의 품명란 제8호, 제3류의 품명란 제12호, 제5류의 품명란 제11호 및 제6류의 품명란 제5호의 규정에 의한 물품을 제외한다)을 주성분으로 함유한 것으로서 위험물에 해당하지 아니하는 물품
 - 2) 제2류 위험물 중 인화성고체와 위험물에 해당하지 아니하는 고체 또는 액체로서 인화점을 갖는 것 또는 합성 수지류(「소방기본법 시행령」 별표 2 비고 제8호의 합성수지류를 말한다)(이하 III에서 "합성수지류등"이라한다) 또는 이들중 어느 하나 이상을 주성분으로 함유한 것으로서 위험물에 해당하지 아니하는 물품
 - 3) 제4류 위험물과 합성수지류등 또는 영 별표 1의 제4류의 품명란에 정한 물품을 주성분으로 함유한 것으로서 위험물에 해당하지 아니하는 물품
 - 4) 제4류 위험물 중 유기과산화물 또는 이를 함유한 것과 유기과산화물 또는

- 유기과산화물만을 함유한 것으로서 위험물에 해당하지 아니하는 물품
- 5) 제48조의 규정에 의한 위험물과 위험물에 해당하지 아니하는 화약류(「총포·도검·화약류 등 단속법」에 의한 화약류에 해당하는 것을 말한다)
 - 6) 위험물과 위험물에 해당하지 아니하는 불연성의 물품(저장하는 위험물 및 위험물외의 물품과 위험한 반응을 일으키지 아니하는 것에 한한다)
- 나. 옥외탱크저장소·옥내탱크저장소·지하탱크저장소 또는 이동탱크저장소(이하 이 목에서 "옥외탱크저장소등"이라 한다)에서 당해 옥외탱크저장소등의 구조 및 설비에 나쁜 영향을 주지 아니하면서 다음에서 정하는 위험물이 아닌 물품을 저장하는 경우
- 1) 제4류 위험물을 저장 또는 취급하는 옥외탱크저장소등:합성수지류등 또는 영 별표 1의 제4류의 품명란에 정한 물품을 주성분으로 함유한 것으로서 위험물에 해당하지 아니하는 물품 또는 위험물에 해당하지 아니하는 불연성 물품(저장 또는 취급하는 위험물 및 위험물외의 물품과 위험한 반응을 일으키지 아니하는 것에 한한다)
 - 2) 제6류 위험물을 저장 또는 취급하는 옥외탱크저장소등 : 영 별표 1의 제6류의 품명란에 정한 물품(동표 제6류의 품명란 제5호의 규정에 의한 물품을 제외한다)을 주성분으로 함유한 것으로서 위험물에 해당하지 아니하는 물품 또는 위험물에 해당하지 아니하는 불연성 물품(저장 또는 취급하는 위험물 및 위험물 외의 물품과 위험한 반응을 일으키지 아니하는 것에 한한다)
2. 영 별표 1의 유별을 달리하는 위험물은 동일한 저장소(내화구조의 격벽으로 완전히 구획된 실이 2 이상 있는 저장소에 있어서는 동일한 실. 이하 제3호에서 같다)에 저장하지 아니하여야 한다. 다만, 옥내저장소 또는 옥외저장소에 있어서 다음의 각목의 규정에 의한 위험물을 저장하는 경우로서 위험물을 유별로 정리하여 저장하는 한편, 서로 1m 이상의 간격을 두는 경우에는 그러하지 아니하다(중요기준).
- 가. 제1류 위험물(알칼리금속의 과산화물 또는 이를 함유한 것을 제외한다)과 제5류 위험물을 저장하는 경우
 - 나. 제1류 위험물과 제6류 위험물을 저장하는 경우
 - 다. 제1류 위험물과 제3류 위험물 중 자연발화성물질(황린 또는 이를 함유한 것에 한한다)을 저장하는 경우
 - 라. 제2류 위험물 중 인화성고체와 제4류 위험물을 저장하는 경우
 - 마. 제3류 위험물 중 알킬알루미늄등과 제4류 위험물(알킬알루미늄 또는

- 알킬리튬을 함유한 것에 한한다)을 저장하는 경우
- 바. 제4류 위험물 중 유기과산화물 또는 이를 함유하는 것과 제5류 위험물 중 유기과산화물 또는 이를 함유한 것을 저장하는 경우
3. 제3류 위험물 중 황린 그 밖에 물속에 저장하는 물품과 금수성물질은 동일한 저장소에서 저장하지 아니하여야 한다(중요기준).
 4. 옥내저장소에 있어서 위험물은 V의 규정에 의한 바에 따라 용기에 수납하여 저장하여야 한다. 다만, 덩어리상태의 유황과 제48조의 규정에 의한 위험물에 있어서는 그러하지 아니하다.
 5. 옥내저장소에서 동일 품명의 위험물이더라도 자연발화할 우려가 있는 위험물 또는 재해가 현저하게 증대할 우려가 있는 위험물을 다량 저장하는 경우에는 지정수량의 10배 이하마다 구분하여 상호간 0.3m 이상의 간격을 두어 저장하여야 한다. 다만, 제48조의 규정에 의한 위험물 또는 기계에 의하여 하역하는 구조로 된 용기에 수납한 위험물에 있어서는 그러하지 아니하다(중요기준).
 6. 옥내저장소에서 위험물을 저장하는 경우에는 다음 각목의 규정에 의한 높이를 초과하여 용기를 겹쳐 쌓지 아니하여야 한다.
 - 가. 기계에 의하여 하역하는 구조로 된 용기만을 겹쳐 쌓는 경우에 있어서는 6m
 - 나. 제4류 위험물 중 제3석유류, 제4석유류 및 동식물유류를 수납하는 용기만을 겹쳐 쌓는 경우에 있어서는 4m
 - 다. 그 밖의 경우에 있어서는 3m
 7. 옥내저장소에서는 용기에 수납하여 저장하는 위험물의 온도가 55℃를 넘지 아니하도록 필요한 조치를 강구하여야 한다(중요기준).
 8. 삭제 <2009.3.17>
 9. 옥외저장탱크·옥내저장탱크 또는 지하저장탱크의 주된 밸브(액체의 위험물을 이송하기 위한 배관에 설치된 밸브중 탱크의 바로 옆에 있는 것을 말한다) 및 주입구의 밸브 또는 뚜껑은 위험물을 넣거나 빼낼 때 외에는 폐쇄하여야 한다.
 10. 옥외저장탱크의 주위에 방유제가 있는 경우에는 그 배수구를 평상시 폐쇄하여 두고, 당해 방유제의 내부에 유류 또는 물이 괴었을 때에는 지체없이 이를 배출하여야 한다.
 11. 이동저장탱크에는 당해 탱크에 저장 또는 취급하는 위험물의 위험성을 알리는 표지를 부착하고 잘 보일 수 있도록 관리하여야 한다.
 12. 이동저장탱크 및 그 안전장치와 그 밖의 부속배관은 균열, 결합불량, 극단적인 변형, 주입호스의 손상 등에 의한 위험물의 누설이 일어나지 아니하

- 도록 하고, 당해 탱크의 배출밸브는 사용시 외에는 완전하게 폐쇄하여야 한다.
13. 피견인자동차에 고정된 이동저장탱크에 위험물을 저장할 때에는 당해 피견인자동차에 견인자동차를 결합한 상태로 두어야 한다. 다만, 다음 각목의 기준에 따라 피견인자동차를 철도·궤도상의 차량(이하 이 호에서 "차량"이라 한다)에 싣거나 차량으로부터 내리는 경우에는 그러하지 아니하다.
 - 가. 피견인자동차를 싣는 작업은 화재예방상 안전한 장소에서 실시하고, 화재가 발생하였을 경우에 그 피해의 확대를 방지할 수 있도록 필요한 조치를 강구할 것
 - 나. 피견인자동차를 실을 때에는 이동저장탱크에 변형 또는 손상을 주지 아니하도록 필요한 조치를 강구할 것
 - 다. 피견인자동차를 차량에 싣는 것은 견인자동차를 분리한 즉시 실시하고, 피견인자동차를 차량으로부터 내렸을 때에는 즉시 당해 피견인자동차를 견인자동차에 결합할 것
 14. 컨테이너식 이동탱크저장소외의 이동탱크저장소에 있어서는 위험물을 저장한 상태로 이동저장탱크를 옮겨 싣지 아니하여야 한다(중요기준).
 15. 이동탱크저장소에는 당해 이동탱크저장소의 완공검사합격확인증 및 정기점검기록을 비치하여야 한다.
 16. 알킬알루미늄등을 저장 또는 취급하는 이동탱크저장소에는 긴급시의 연락처, 응급조치에 관하여 필요한 사항을 기재한 서류, 방호복, 고무장갑, 밸브 등을 죄는 결합공구 및 휴대용 확성기를 비치하여야 한다.
 17. 옥외저장소(제20호의 규정에 의한 경우를 제외한다)에 있어서 위험물은 V에 정하는 바에 따라 용기에 수납하여 저장하여야 한다.
 18. 옥외저장소에서 위험물을 저장하는 경우에 있어서는 제6호 각목의 규정에 의한 높이를 초과하여 용기를 겹쳐 쌓지 아니하여야 한다.
 19. 옥외저장소에서 위험물을 수납한 용기를 선반에 저장하는 경우에는 6m를 초과하여 저장하지 아니하여야 한다.
 20. 유황을 용기에 수납하지 아니하고 저장하는 옥외저장소에서는 유황을 경계표시의 높이 이하로 저장하고, 유황이 넘치거나 비산하는 것을 방지할 수 있도록 경계표시 내부의 전체를 난연성 또는 불연성의 천막 등으로 덮고 당해 천막 등을 경계표시에 고정하여야 한다.
 21. 알킬알루미늄등, 아세트알데히드등 및 디에틸에테르등(디에틸에테르 또는 이를 함유한 것을 말한다. 이하 같다)의 저장기준은 제1호 내지 제20호의

규정에 의하는 외에 다음 각목과 같다(중요기준).

- 가. 옥외저장탱크 또는 옥내저장탱크 중 압력탱크(최대상용압력이 대기압을 초과하는 탱크를 말한다. 이하 이 호에서 같다)에 있어서는 알킬알루미늄등의 취출에 의하여 당해 탱크내의 압력이 상용압력 이하로 저하하지 아니하도록, 압력탱크 외의 탱크에 있어서는 알킬알루미늄등의 취출이나 온도의 저하에 의한 공기의 혼입을 방지할 수 있도록 불활성의 기체를 봉입할 것
- 나. 옥외저장탱크·옥내저장탱크 또는 이동저장탱크에 새롭게 알킬알루미늄등을 주입하는 때에는 미리 당해 탱크안의 공기를 불활성기체와 치환하여 둘 것
- 다. 이동저장탱크에 알킬알루미늄등을 저장하는 경우에는 20kPa 이하의 압력으로 불활성의 기체를 봉입하여 둘 것
- 라. 옥외저장탱크·옥내저장탱크 또는 지하저장탱크 중 압력탱크에 있어서는 아세트알데히드등의 취출에 의하여 당해 탱크내의 압력이 상용압력 이하로 저하하지 아니하도록, 압력탱크 외의 탱크에 있어서는 아세트알데히드등의 취출이나 온도의 저하에 의한 공기의 혼입을 방지할 수 있도록 불활성기체를 봉입할 것
- 마. 옥외저장탱크·옥내저장탱크·지하저장탱크 또는 이동저장탱크에 새롭게 아세트알데히드등을 주입하는 때에는 미리 당해 탱크안의 공기를 불활성기체와 치환하여 둘 것
- 바. 이동저장탱크에 아세트알데히드등을 저장하는 경우에는 항상 불활성의 기체를 봉입하여 둘 것
- 사. 옥외저장탱크·옥내저장탱크 또는 지하저장탱크 중 압력탱크 외의 탱크에 저장하는 디에틸에테르등 또는 아세트알데히드등의 온도는 산화프로필렌과 이를 함유한 것 또는 디에틸에테르등에 있어서는 30℃ 이하로, 아세트알데히드 또는 이를 함유한 것에 있어서는 15℃ 이하로 각각 유지할 것
- 아. 옥외저장탱크·옥내저장탱크 또는 지하저장탱크 중 압력탱크에 저장하는 아세트알데히드등 또는 디에틸에테르등의 온도는 40℃ 이하로 유지할 것
- 자. 보냉장치가 있는 이동저장탱크에 저장하는 아세트알데히드등 또는 디에틸에테르등의 온도는 당해 위험물의 비점 이하로 유지할 것
- 차. 보냉장치가 없는 이동저장탱크에 저장하는 아세트알데히드등 또는 디에틸에테르등의 온도는 40℃ 이하로 유지할 것

IV. 취급의 기준

1. 위험물의 취급 중 제조에 관한 기준은 다음 각목과 같다(중요기준).
 - 가. 증류공정에 있어서는 위험물을 취급하는 설비의 내부압력의 변동 등에 의하여 액체 또는 증기가 새지 아니하도록 할 것
 - 나. 추출공정에 있어서는 추출관의 내부압력이 비정상적으로 상승하지 아니하도록 할 것
 - 다. 건조공정에 있어서는 위험물의 온도가 부분적으로 상승하지 아니하는 방법으로 가열 또는 건조할 것
 - 라. 분쇄공정에 있어서는 위험물의 분말이 현저하게 부유하고 있거나 위험물의 분말이 현저하게 기계·기구 등에 부착하고 있는 상태로 그 기계·기구를 취급하지 아니할 것
2. 위험물의 취급중 용기에 옮겨 담는데 대한 기준은 다음 각목과 같다.
 - 가. 위험물을 용기에 옮겨 담는 경우에는 V에 정하는 바에 따라 수납할 것
 - 나. 삭제 <2009.3.17>
3. 위험물의 취급 중 소비에 관한 기준은 다음 각목과 같다(중요기준).
 - 가. 분사도장작업은 방화상 유효한 격벽 등으로 구획된 안전한 장소에서 실시할 것
 - 나. 담금질 또는 열처리작업은 위험물이 위험한 온도에 이르지 아니하도록 하여 실시할 것
 - 다. 삭제 <2009.3.17>
 - 라. 버너를 사용하는 경우에는 버너의 역화를 방지하고 위험물이 넘치지 아니하도록 할 것
4. 삭제 <2009.3.17>
5. 주유취급소·판매취급소·이송취급소 또는 이동탱크저장소에서의 위험물의 취급 기준은 다음 각목과 같다.
 - 가. 주유취급소(항공기주유취급소·선박주유취급소 및 철도주유취급소를 제외한다)에서의 취급기준
 - 1) 자동차 등에 주유할 때에는 고정주유설비를 사용하여 직접 주유할 것 (중요기준)
 - 2) 자동차 등에 인화점 40℃ 미만의 위험물을 주유할 때에는 자동차 등의 원동기를 정지시킬 것. 다만, 연료탱크에 위험물을 주유하는 동안 방출되는 가연성 증기를 회수하는 설비가 부착된 고정주유설비에 의하여 주유하는 경우에는 그러하지 아니하다.

- 3) 이동저장탱크에 급유할 때에는 고정급유설비를 사용하여 직접 급유할 것
- 4) 삭제 <2009.3.17>
- 5) 삭제 <2009.3.17>
- 6) 고정주유설비 또는 고정급유설비에 접속하는 탱크에 위험물을 주입할 때에는 당해 탱크에 접속된 고정주유설비 또는 고정급유설비의 사용을 중지하고, 자동차 등을 당해 탱크의 주입구에 접근시키지 아니할 것
- 7) 고정주유설비 또는 고정급유설비에는 해당 설비에 접속한 전용탱크 또는 간이탱크의 배관외의 것을 통하여서는 위험물을 공급하지 아니할 것
- 8) 자동차 등에 주유할 때에는 고정주유설비 또는 고정급유설비에 접속된 탱크의 주입구로부터 4m 이내의 부분(별표 13 V 제1호다목 및 라목의 용도에 제공하는 부분 중 바닥 및 벽에서 구획된 것의 내부를 제외한다)에, 이동저장탱크로부터 전용탱크에 위험물을 주입할 때에는 전용탱크의 주입구로부터 3m 이내의 부분 및 전용탱크 통기관의 끝부분으로부터 수평거리 1.5m 이내의 부분에 있어서는 다른 자동차 등의 주차를 금지하고 자동차 등의 점검·정비 또는 세정을 하지 아니할 것
- 9) 삭제 <2009.3.17>
- 10) 삭제 <2014.6.23>
- 11) 주유원간이대기실 내에서는 화기를 사용하지 아니할 것
- 12) 전기자동차 충전설비를 사용하는 때에는 다음의 기준을 준수할 것
 - 가) 충전기와 전기자동차를 연결할 때에는 연장코드를 사용하지 아니할 것
 - 나) 전기자동차의 전기·인터페이스 등이 충전기기의 규격에 적합한지 확인한 후 충전을 시작할 것
 - 다) 충전 중에는 자동차 등을 작동시키지 아니할 것
- 나. 항공기주유취급소에서의 취급기준은 가목[1) 및 7)은 제외한다]의 규정을 준용하는 외에 다음의 기준에 의할 것
 - 1) 항공기에 주유하는 때에는 고정주유설비, 주유배관의 끝부분에 접속한 호스기기, 주유호스차 또는 주유탱크차를 사용하여 직접 주유할 것(중요 기준)
 - 2) 삭제 <2009.3.17>
 - 3) 고정주유설비에는 당해 주유설비에 접속한 전용탱크 또는 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크의 배관외의 것을 통하여서는 위험물을 주입하지 아니할 것
 - 4) 주유호스차 또는 주유탱크차에 의하여 주유하는 때에는 주유호스의 끝

부분을 항공기의 연료탱크의 급유구에 긴밀히 결합할 것. 다만, 주유탱크차에서 주유호스 끝부분에 수동개폐장치를 설치한 주유노즐에 의하여 주유하는 때에는 그러하지 아니하다.

- 5) 주유호스차 또는 주유탱크차에서 주유하는 때에는 주유호스차의 호스기기 또는 주유탱크차의 주유설비를 접지하고 항공기와 전기적인 접촉을 할 것
 다. 철도주유취급소에서의 취급기준은 가목[1] 및 7)은 제외한다]의 규정 및 나목3)의 규정을 준용하는 외에 다음의 기준에 의할 것

- 1) 철도 또는 궤도에 의하여 운행하는 차량에 주유하는 때에는 고정주유설비 또는 주유배관의 끝부분에 접속한 호스기기를 사용하여 직접 주유할 것(중요기준)
- 2) 철도 또는 궤도에 의하여 운행하는 차량에 주유하는 때에는 콘크리트 등으로 포장된 부분에서 주유할 것

라. 선박주유취급소에서의 취급기준은 가목[1] 및 7)은 제외한다]의 규정 및 나목3)의 규정을 준용하는 외에 다음의 기준에 의할 것

- 1) 선박에 주유하는 때에는 고정주유설비 또는 주유배관의 끝부분에 접속한 호스기기를 사용하여 직접 주유할 것(중요기준)
- 2) 선박에 주유하는 때에는 선박이 이동하지 아니하도록 계류시킬 것
- 3) 수상구조물에 설치하는 고정주유설비를 이용하여 주유작업을 할 때에는 5m 이내에 다른 선박의 정박 또는 계류를 금지할 것
- 4) 수상구조물에 설치하는 고정주유설비의 주위에 설치하는 집유설비 내에 고인 빗물 또는 위험물은 넘치지 않도록 수시로 수거하고, 수거물은 유분리장치를 이용하거나 폐기물 처리 방법에 따라 처리할 것
- 5) 수상구조물에 설치하는 고정주유설비를 이용한 주유작업은 위험물을 공급하는 배관·펌프 및 그 부속 설비의 안전을 확인한 후에 시작할 것(중요기준)
- 6) 수상구조물에 설치하는 고정주유설비를 이용한 주유작업이 종료된 후에는 별표 13 XIV제3호마목에 따른 차단밸브를 모두 잠글 것(중요기준)
- 7) 수상구조물에 설치하는 고정주유설비를 이용한 주유작업은 총 톤수가 300 미만인 선박에 대해서만 실시할 것(중요기준)

마. 고객이 직접 주유하는 주유취급소에서의 기준

- 1) 셀프용고정주유설비 및 셀프용고정급유설비 외의 고정주유설비 또는 고정급유설비를 사용하여 고객에 의한 주유 또는 용기에 옮겨 담은 작업을 행하지 아니할 것(중요기준)
- 2) 삭제 <2009.3.17>

- 3) 감시대에서 고객이 주유하거나 용기에 옮겨 담는 작업을 직시하는 등 적절한 감시를 할 것
- 4) 고객에 의한 주유 또는 용기에 옮겨 담는 작업을 개시할 때에는 안전상 지장이 없음을 확인 한 후 제어장치에 의하여 호스기기에 대한 위험물의 공급을 개시할 것
- 5) 고객에 의한 주유 또는 용기에 옮겨 담는 작업을 종료한 때에는 제어장치에 의하여 호스기기에 대한 위험물의 공급을 정지할 것
- 6) 비상시 그 밖에 안전상 지장이 발생한 경우에는 제어장치에 의하여 호스기기에 위험물의 공급을 일제히 정지하고, 주유취급소 내의 모든 고정 주유설비 및 고정급유설비에 의한 위험물 취급을 중단할 것
- 7) 감시대의 방송설비를 이용하여 고객에 의한 주유 또는 용기에 옮겨 담는 작업에 대한 필요한 지시를 할 것
- 8) 감시대에서 근무하는 감시원은 안전관리자 또는 위험물안전관리에 관한 전문지식이 있는 자일 것

바. 판매취급소에서의 취급기준

- 1) 판매취급소에서는 도료류, 제1류 위험물 중 염소산염류 및 염소산염류만을 함유한 것, 유황 또는 인화점이 38℃ 이상인 제4류 위험물을 배합실에서 배합하는 경우 외에는 위험물을 배합하거나 옮겨 담는 작업을 하지 아니할 것
- 2) 위험물은 별표 19 I의 규정에 의한 운반용기에 수납한 채로 판매할 것
- 3) 판매취급소에서 위험물을 판매할 때에는 위험물이 넘치거나 비산하는 계량기(액용되를 포함한다)를 사용하지 아니할 것

사. 이송취급소에서의 취급기준

- 1) 위험물의 이송은 위험물을 이송하기 위한 배관·펌프 및 그에 부속한 설비(위험물을 운반하는 선박으로부터 육상으로 위험물의 이송취급을 하는 이송취급소에 있어서는 위험물을 이송하기 위한 배관 및 그에 부속된 설비를 말한다. 이하 나목에서 같다)의 안전을 확인한 후에 개시할 것(중요기준)
- 2) 위험물을 이송하기 위한 배관·펌프 및 이에 부속한 설비의 안전을 확인하기 위한 순찰을 행하고, 위험물을 이송하는 중에는 이송하는 위험물의 압력 및 유량을 항상 감시할 것(중요기준)
- 3) 이송취급소를 설치한 지역의 지진을 감지하거나 지진의 정보를 얻은 경우에는 소방청장이 정하여 고시하는 바에 따라 재해의 발생 또는

확대를 방지하기 위한 조치를 강구할 것

아. 이동탱크저장소(컨테이너식 이동탱크저장소를 제외한다)에서의 취급기준

- 1) 이동저장탱크로부터 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크에 액체의 위험물을 주입할 경우에는 그 탱크의 주입구에 이동저장탱크의 주입호스를 견고하게 결합할 것. 다만, 주입호스의 끝부분에 수동개폐장치를 한 주입노즐(수동개폐장치를 개방상태로 고정하는 장치를 한 것을 제외한다)을 사용하여 지정수량 미만의 양의 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크에 인화점이 40℃ 이상인 위험물을 주입하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- 2) 이동저장탱크로부터 액체위험물을 용기에 옮겨 담지 아니할 것. 다만, 주입호스의 끝부분에 수동개폐장치를 한 주입노즐(수동개폐장치를 개방상태로 고정하는 장치를 한 것을 제외한다)을 사용하여 별표 19 I의 기준에 적합한 운반용기에 인화점 40℃ 이상의 제4류 위험물을 옮겨 담는 경우에는 그러하지 아니하다.
- 3) 이동저장탱크로부터 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크에 인화점이 40℃ 미만인 위험물을 주입할 때에는 이동탱크저장소의 원동기를 정지시킬 것
- 4) 이동저장탱크로부터 직접 위험물을 자동차(자동차관리법 제2조제1호의 규정에 의한 자동차와 「건설기계관리법」 제2조제1항제1호의 규정에 의한 건설기계중 덤프트럭 및 콘크리트믹서트럭을 말한다)의 연료탱크에 주입하지 말 것. 다만, 「건설산업기본법」 제2조제4호에 따른 건설공사를 하는 장소에서 별표 10 IV제3호에 따른 주입설비를 부착한 이동탱크저장소로부터 해당 건설공사와 관련된 자동차(「건설기계관리법」 제2조제1항제1호에 따른 건설기계 중 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭으로 한정한다)의 연료탱크에 인화점 40℃ 이상의 위험물을 주입하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- 5) 휘발유·벤젠 그 밖에 정전기에 의한 재해발생의 우려가 있는 액체의 위험물을 이동저장탱크에 주입하거나 이동저장탱크로부터 배출하는 때에는 도선으로 이동저장탱크와 접지전극 등과의 사이를 긴밀히 연결하여 당해 이동저장탱크를 접지할 것
- 6) 휘발유·벤젠·그 밖에 정전기에 의한 재해발생의 우려가 있는 액체의 위험물을 이동저장탱크의 상부로 주입하는 때에는 주입관을 사용하되, 당해 주입관의 끝부분을 이동저장탱크의 밑바닥에 밀착할 것
- 7) 휘발유를 저장하던 이동저장탱크에 등유나 경유를 주입할 때 또는 등

- 유나 경유를 저장하던 이동저장탱크에 휘발유를 주입할 때에는 다음의 기준에 따라 정전기등에 의한 재해를 방지하기 위한 조치를 할 것
- 가) 이동저장탱크의 상부로부터 위험물을 주입할 때에는 위험물의 액표면이 주입관의 끝부분을 넘는 높이가 될 때까지 그 주입관내의 유속을 초당 1m 이하로 할 것
 - 나) 이동저장탱크의 밑부분으로부터 위험물을 주입할 때에는 위험물의 액표면이 주입관의 정상부분을 넘는 높이가 될 때까지 그 주입배관내의 유속을 초당 1m 이하로 할 것
 - 다) 그 밖의 방법에 의한 위험물의 주입은 이동저장탱크에 가연성증기가 잔류하지 아니하도록 조치하고 안전한 상태로 있음을 확인한 후에 할 것
- 8) 이동탱크저장소는 별표 10 I의 규정에 의한 상치장소에 주차할 것. 다만, 원거리 운행 등으로 상치장소에 주차할 수 없는 경우에는 다음의 장소에도 주차할 수 있다.
- 가) 다른 이동탱크저장소의 상치장소
 - 나) 「화물자동차 운수사업법」에 의한 일반화물자동차운송사업을 위한 차고로서 별표 10 I의 규정에 적합한 장소
 - 다) 「물류시설의 개발 및 운영에 관한 법률」에 따른 물류터미널의 주차장으로서 별표 10 I의 규정에 적합한 장소
 - 라) 「주차장법」에 의한 주차장중 노외의 옥외주차장으로서 별표 10 I의 규정에 적합한 장소
 - 마) 제조소등이 설치된 사업장 내의 안전한 장소
 - 바) 도로(갓길 및 노상주차장을 포함한다) 외의 장소로서 화기취급장소 또는 건축물로부터 10m 이상 거리를 둔 장소
 - 사) 벽·기둥·바닥·보·서까래 및 지붕이 내화구조로 된 건축물의 1층으로서 개구부가 없는 내화구조의 격벽 등으로 당해 건축물의 다른 용도의 부분과 구획된 장소
 - 아) 소방본부장 또는 소방서장으로부터 승인을 받은 장소
- 9) 이동저장탱크를 8)의 규정에 의한 상치장소 등에 주차시킬 때에는 완전히 빈 상태로 할 것. 다만, 당해 장소가 별표 6 I·II 및 IX의 규정에 적합한 경우에는 그러하지 아니하다.
- 10) 이동저장탱크로부터 직접 위험물을 선박의 연료탱크에 주입하는 경우에는 다음의 기준에 따를 것

- 가) 선박이 이동하지 아니하도록 계류(繫留)시킬 것
 - 나) 이동탱크저장소가 움직이지 않도록 조치를 강구할 것
 - 다) 이동탱크저장소의 주입호스의 끝부분을 선박의 연료탱크의 급유구에 긴밀히 결합할 것. 다만, 주입호스 끝부분에 수동개폐장치를 설치한 주유노즐로 주입하는 때에는 그러하지 아니하다.
 - 라) 이동탱크저장소의 주입설비를 접지할 것. 다만, 인화점 40℃ 이상의 위험물을 주입하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- 자. 컨테이너식 이동탱크저장소에서의 위험물취급은 아목[1]을 제외한다]의 규정을 준용하는 외에 다음의 기준에 의할 것
- 1) 이동저장탱크에서 위험물을 저장 또는 취급하는 탱크에 액체위험물을 주입하는 때에는 주입구에 주입호스를 긴밀히 연결할 것. 다만, 주입호스의 끝부분에 수동개폐장치를 설치한 주입노즐(수동개폐장치를 개방상태로 고정하는 장치를 한 것을 제외한다)에 의하여 지정수량 미만의 탱크에 인화점이 40℃ 이상인 제4류 위험물을 주입하는 때에는 그러하지 아니하다.
 - 2) 이동저장탱크를 체결금속구, 변형금속구 또는 샤시프레임에 긴밀히 결합한 구조의 유(U)볼트를 이용하여 차량에 긴밀히 연결할 것
6. 알킬알루미늄등 및 아세트알데히드등의 취급기준은 제1호 내지 제5호에 정하는 것 외에 당해 위험물의 성질에 따라 다음 각목에 정하는 바에 의한다 (중요기준).
- 가. 알킬알루미늄등의 제조소 또는 일반취급소에 있어서 알킬알루미늄등을 취급하는 설비에는 불활성의 기체를 봉입할 것
 - 나. 알킬알루미늄등의 이동탱크저장소에 있어서 이동저장탱크로부터 알킬알루미늄등을 꺼낼 때에는 동시에 200kPa 이하의 압력으로 불활성의 기체를 봉입할 것
 - 다. 아세트알데히드등의 제조소 또는 일반취급소에 있어서 아세트알데히드등을 취급하는 설비에는 연소성 혼합기체의 생성에 의한 폭발의 위험이 생겼을 경우에 불활성의 기체 또는 수증기[아세트알데히드등을 취급하는 탱크(옥외에 있는 탱크 또는 옥내에 있는 탱크로서 그 용량이 지정수량의 5분의 1 미만의 것을 제외한다)에 있어서는 불활성의 기체]를 봉입할 것
 - 라. 아세트알데히드등의 이동탱크저장소에 있어서 이동저장탱크로부터 아세트알데히드등을 꺼낼 때에는 동시에 100kPa 이하의 압력으로 불활성의 기체를 봉입할 것

V. 위험물의 용기 및 수납

1. III제4호 및 제17호의 규정에 의하여 위험물을 용기에 수납할 때 또는 IV제2호가목의 규정에 의하여 위험물을 용기에 옮겨 담을 때에는 다음 각목에 정하는 용기의 구분에 따라 당해 각목에 정하는 바에 의한다. 다만, 제조소 등이 설치된 부지와 동일한 부지내에서 위험물을 저장 또는 취급하기 위하여 다음 각목에 정하는 용기 외의 용기에 수납하거나 옮겨 담는 경우에 있어서 당해 용기의 저장 또는 취급이 화재의 예방상 안전하다고 인정될 때에는 그러하지 아니하다.
 - 가. 나목에 정하는 용기 외의 용기 : 고체의 위험물에 있어서는 부표 제1호, 액체의 위험물에 있어서는 부표 제2호에 정하는 기준에 적합한 내장용기(내장용기의 용기의 종류란이 공란인 것은 외장용기) 또는 저장 또는 취급의 안전상 이러한 기준에 적합한 용기와 동등 이상이라고 인정하여 소방청장이 정하여 고시하는 것(이하 V에서 "내장용기등"이라고 한다)으로서 별표 19 II 제1호에 정하는 수납의 기준에 적합할 것
 - 나. 기계에 의하여 하역하는 구조로 된 용기(기계에 의하여 들어 올리기 위한 고리·기구·포크리프트포켓 등이 있는 용기를 말한다. 이하 같다):별표 19 I 제3호나목에 규정하는 운반용기로서 별표 19 II제2호에 정하는 수납의 기준에 적합할 것
2. 제1호 가목의 내장용기등(내장용기등을 다른 용기에 수납하는 경우에 있어서는 당해 용기를 포함한다. 이하 V에서 같다)에 있어서는 별표 19 II제8호에 정하는 표시를, 제1호나목의 용기에 있어서는 별표 19 II제8호 및 별표 19 II제13호에 정하는 표시를 각각 보기 쉬운 위치에 하여야 한다.
3. 제2호의 규정에 불구하고 제1류·제2류 또는 제4류의 위험물(별표 19 V제1호의 규정에 의한 위험등급 I의 위험물을 제외한다)의 내장용기등으로서 최대용적이 1ℓ 이하의 것에 있어서는 별표 19 II제8호가목 및 다목의 표시를 각각 위험물의 통칭명 및 동호의 규정에 의한 표시와 동일한 의미가 있는 다른 표시로 대신할 수 있다.
4. 제2호 및 제3호의 규정에 불구하고 제4류 위험물에 해당하는 화장품(에어줄을 제외한다)의 내장용기등으로서 최대용적이 150ml 이하의 것에 있어서는 별표 19 II제8호가목 및 다목에 정하는 표시를 아니할 수 있고 최대용적이 150ml 초과 300ml 이하의 것에 있어서는 별표 19 II제8호가목에 정하는 표시를 하지 아니할 수 있으며, 별표 19 II제8호다목의 주의사항은 동목의 규정에 의한 표시와 동일한 의미가 있는 다른 표시로 대신할 수 있다.

5. 제2호 및 제3호의 규정에 불구하고 제4류 위험물에 해당하는 에어졸의 내장용기등으로서 최대 용적이 300㎖ 이하의 것에 있어서는 별표 19 II제8호가목의 규정에 의한 표시를 하지 아니할 수 있고, 별표 19 II제8호다목의 주의사항을 동목의 규정에 의한 표시와 동일한 의미가 있는 다른 표시로 대신할 수 있다.
6. 제2호 및 제3호의 규정에 불구하고 제4류 위험물 중 동식물유류의 내장용기등으로서 최대용적이 3ℓ 이하의 것에 있어서는 별표 19 II제8호가목 및 다목의 표시를 각각 당해 위험물의 통칭명 및 동호의 규정에 의한 표시와 동일한 의미가 있는 다른 표시로 대신할 수 있다.

VI. 법 제5조제3항의 규정에 의한 중요기준 및 세부기준은 다음 각호의 구분에 의한다.

1. 중요기준 : I 내지 V의 저장 또는 취급기준 중 "중요기준"이라 표기한 것
2. 세부기준 : 중요기준 외의 것

4. 로터리 킬른 폐합성수지 열분해 설비의 안전보건기술지침(안)

로터리 킬른(Rotary Kiln) 폐합성수지 열분해 설비의 안전보건기술지침(안)

1. 목적

이 지침은 로터리 킬른 열분해 설비를 이용한 폐합성수지 열분해 공정의 화재·폭발, 화상, 질식, 중독 등과 관련된 위험요소를 파악하여 발생 가능한 사고를 사전에 예방하기 위해 필요한 사항을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 촉매를 사용하지 않는 로터리 킬른 열분해 설비를 이용하여 폐합성수지로부터 열분해유를 생산하는 공정에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “폐합성수지”라 함은 제품으로서의 정상적인 유통 단계를 거친 후 사용 목적을 다하고 배출된 합성수지를 말한다.
- (나) “열분해(Pyrolysis)”라 함은 폐합성수지를 무산소 또는 저산소에서 고온으로 가열하여 가스, 액체 오일, 탄화물(char & cokes)으로 변환시키는 화학적 분해반응이다.
- (다) “열분해 반응기”라 함은 폐합성수지의 열분해가 발생하는 설비를 말한다.
- (라) “가열기”라 함은 LPG, 열분해가스, 등유, 열분해유 등의 원료를 연소시켜 열분해 반응기를 가열하기 위한 설비를 말한다.
- (마) “로터리 킬른(Rotary Kiln)식 열분해 반응기”라 함은 열분해 하기 위한 원료를 넣은 반응기를 회전시키면서 가열하여 폐합성수지를 열분해 하는 설비를 말한다.
- (바) “열분해가스”라 함은 열분해 반응기에서 폐합성수지가 열분해 되는 과정에서 발생하는 가스를 말한다.

- (사) “열분해유”라 함은 열분해 반응기에서 발생한 열분해가스를 응축시켜 생성된 오일 또는 그 오일을 증류 등의 후처리를 통해 얻은 오일을 말한다.
- (아) “열분해 잔재물”이라 함은 폐합성수지의 열분해가 완료된 후에 반응기에 남은 탄화물(char, cokes 등) 및 고체상의 물질을 말한다.
- (자) “왁스(wax)”라 함은 폐합성수지를 열분해하여 발생하는 물질 중 냉각되었을 때 페이스트(paste)와 같은 상태인 물질을 말한다.
- (차) “소각설비”라 함은 폐합성수지의 열분해 과정에서 발생한 열분해가스 중 응축되지 않은 가스를 소각시키기 위한 설비를 말한다.
- (카) “열분해설비”라 함은 폐합성수지의 열분해를 통해 열분해유를 생산 및 저장하기 위해 필요한 설비 일체를 말한다.
- (2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 『폐기물관리법』, 『산업안전보건법』, 『위험물안전관리법』과 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 『산업안전보건기준에 관한 규칙』에서 정하는 바에 따른다.

4. 폐합성수지 열분해 설비의 주요 공정 및 유해·위험성

4.1. 주요 열분해 공정(예)

- (1) 폐합성수지 투입
폐합성수지 보관장소에서 폐합성수지를 운반하여 열분해 반응기에 투입한다.
- (2) 열분해
가열기에서 발생한 열원을 이용하여 열분해 반응기를 회전시키면서 가열한다.
- (3) 열분해가스 응축
열분해 설비에서 발생한 가스를 응축하여 열분해유를 생성한다.
- (4) 비응축가스 분리
기액분리기를 이용하여 응축기에서 응축되지 않은 기체와 열분해유를 분리한다.
- (5) 열분해유 후처리(증류 등)
증류기에서 열분해유를 끓는점에 따라 분류하여 인화점을 조절한다.
- (6) 유수분리
비중차를 이용하여 열분해유에서 수분을 분리하고, 폐수는 폐수처리설비로 이송한다.
- (7) 열분해유 저장

수분이 제거된 열분해유를 저장설비에 저장한다.

(8) 비응축가스 활용 및 소각

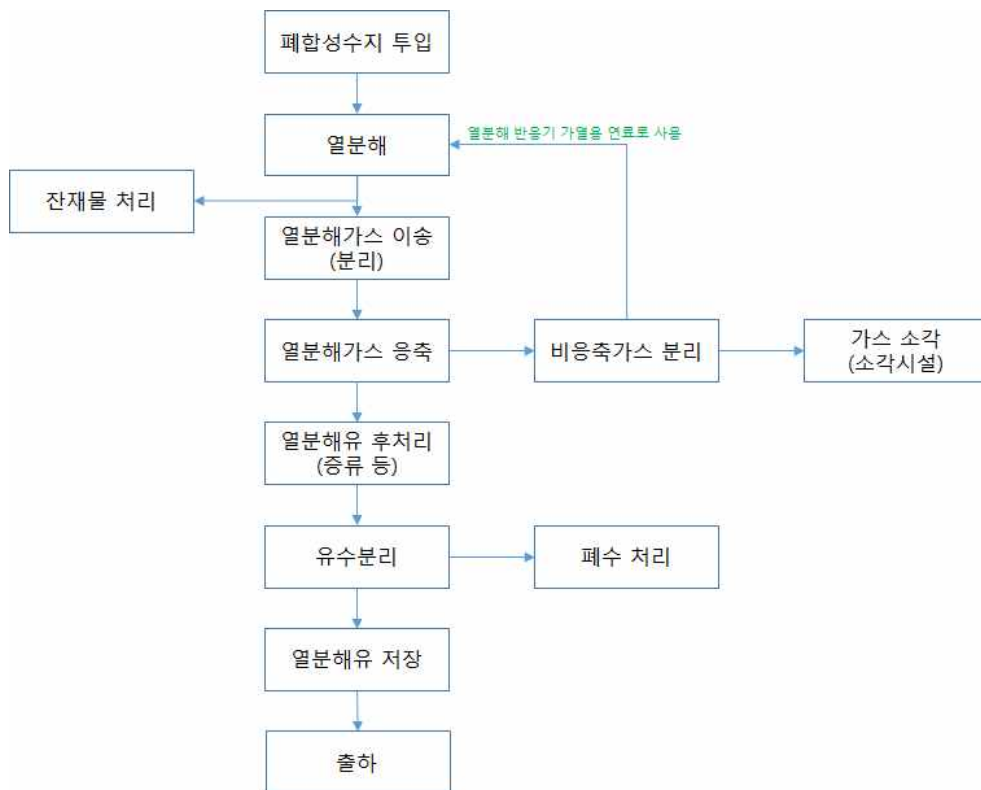
응축기에서 응축되지 않은 가스를 가열기로 보내 열원으로 활용하거나 소각설비에서 소각한다.

(9) 잔재물 제거

열분해 반응기 내부에 남은 열분해 잔재물을 제거한다.

(10) 출하

저장설비에 저장되어 있는 열분해유를 탱크로리 등으로 이송한다.



〈그림 1〉 폐합성수지 열분해 주요 공정의 흐름도(예)

4.2. 열분해가스의 유해·위험성

(1) HDPE, LDPE, PP 및 PS의 열분해 과정에서 발생하는 가스의 조성은 주로 메탄(CH_4),

에틸렌(C_2H_4) 및 부타디엔(C_4H_6)과 같은 탄화수소 가스이며, 미량의 프로판($CH_3CH_2CH_3$), 프로펜($CH_3CH=CH_2$), n-부탄($CH_3(CH_2)_2CH_3$) 및 기타 탄화수소 함량이 높은 가스로 구성되어 있어 누출될 경우 화재·폭발 위험이 있다.

- (2) PC, PET, PVC의 열분해 시에는 탄화수소 가스의 형성과 함께 CO_2 , CO과 같은 가스를 생성하여 이들 가스가 누출될 경우 화재·폭발 또는 질식·중독 등의 위험이 있다. 특히, PVC 열분해 시에 발생하는 염소는 구조물, 배관, 밸브 등의 금속 부식 및 기타 환경적으로 영향을 미칠 수 있다.

4.3. 열분해 공정 및 설비의 유해·위험성

(1) 폐합성수지 투입 (작업장 통로 및 지게차)

- (가) 지게차 또는 프론트로더를 이용하여 폐합성수지를 열분해 반응기에 투입하는 경우 주변 작업자와 충돌할 위험이 있다.
- (나) 열분해 반응기 내부에 잔류한 인화성 가스를 제거하지 않은 상태에서 열분해 반응기 투입구를 개방하는 경우 인화성 가스의 누출로 인한 화재·폭발 위험이 있다.
- (다) 투입 원료에 의도하지 않은 이물질이 포함되는 경우 이상 반응에 의한 과열 발생으로 인화성 물질이 누출되어 화재·폭발이 발생할 위험 또는 독성물질 생성으로 인한 중독 및 환경오염의 위험이 있다.

(2) 가열기 점화 및 가열 (가열기)

- (가) 밸브 오조작 등으로 가열기 내부에 연료용 가스 또는 열분해가스가 체류된 상태에서 가열기를 점화하는 경우 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다.
- (나) 열분해가스의 질적 또는 양적 변동에 의해 연소가 중단되어 불꽃이 꺼진 상태에서 열분해가스가 계속 공급되는 경우, 가열기 내부에 인화성 가스가 체류할 수 있으며 이때 불씨가 유입되면 폭발이 발생할 위험이 있다.
- (다) 화염방지기가 설치되지 않은 경우 연료용 가스 또는 열분해가스의 역화에 의한 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다.
- (라) 가열기의 고온부에 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.

(3) 열분해 (열분해 반응기)

- (가) 열분해 반응기 작동 중 발생하는 열분해가스 및 증기 배출 배관의 회전 연결부 틈새, 원료 투입구 틈새 등에서 열분해가스 누출로 인한 화재·폭발 위험이 있다.
- (나) 열분해가스 및 증기 배출구와 배관 내부에 열분해 잔재물(cokes 등), 유기물, 이물질 등의 적층 또는 왁스의 응고로 배관이 막히거나 열분해가스 이송로가 좁아지는 경우 반응기 및 배관 등의 내부 압력 상승에 따른 폭발 위험 및 열분해가스 누출로 인한 화재·폭발 위험이 있다.
- (다) 열분해 반응 중 또는 열분해 종료 후 열분해 반응기 내부 온도가 높은 상태에서 열분해 반응기 내부로 공기(산소)가 유입되는 경우 반응기 내부의 열분해가스가 폭발할 위험이 있다.
- (라) 열분해가스 및 증기배출 밸브가 잠겨 있을 경우 열분해 반응기 내부 압력 상승에 따른 폭발 위험이 있다.
- (마) 열분해 반응기 내부 온도가 제어되지 않을 경우 과열에 따른 화재 또는 폭발 위험이 있다.
- (바) 압력계 도압관이 왁스, 열분해 잔재물, 이물질 등으로 막히는 경우 열분해 반응기 내부 압력 측정 실패로 인한 폭발 위험이 있다.
- (사) 열분해 반응기가 지속적으로 고온에 노출됨에 따라 용접부, 볼트 연결부 등 취약부분의 열화, 열변형, 기계적 강도 감소 등에 따른 위험이 발생할 수 있다.
- (아) 볼트 등의 부품을 임의로 제작 또는 교체할 경우 강도 미달로 인한 열분해가스 누출 및 폭발 위험이 있다.
- (자) 열분해 반응기 및 주변 설비의 고온부에 작업자의 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.

(4) 열분해유 저장 및 출하 (저장설비)

- (가) 열분해유 저장설비에서 열분해유가 누출되는 경우 작업장 전체로 열분해유가 확산되어 화재가 발생할 위험이 있다.
- (나) 외부 화재 발생 시 저장탱크의 통기밸브 등으로 화염이 전파될 위험이 있다.
- (다) 탱크로리 연결 및 열분해유 이송 시 정전기로 인한 화재·폭발 위험이 있다.

(5) 가스 소각 (소각설비)

- (가) 밸브 오조작 등으로 소각설비 내부에 보조연료로 사용하는 가스 또는 열분해가스가 체류한 상태에서 소각설비를 점화하는 경우 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다.
- (나) 열분해가스의 질적 또는 양적 변동에 의해 연소가 중단되어 불꽃이 꺼진 상태에서 열분해가스가 계속 공급되는 경우, 소각설비 내부에 인화성 가스가 체류한 상태가 되며, 이때 불씨가 유입되면 폭발이 발생할 위험이 있다.
- (다) 소각설비에 있는 소각용 열분해가스 배출 밸브가 닫힌 상태, 화염방지기에 막힘이 발생한 상태 등에서 열분해를 진행하는 경우 열분해가스가 역류하여 열분해 공정 압력이 증가하거나 가스가 누출되어 화재·폭발이 발생할 위험이 있다.
- (라) 공기 또는 산소의 압력으로 소각용 열분해가스 또는 연소용 가스가 역류하는 경우 열분해가스 또는 연소용 가스의 역화에 의한 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다.
- (마) 폐가스 소각설비로 액상(미스트 등)의 가연성 물질이 유입되는 경우 이상 연소에 의한 폭발 또는 화재가 발생할 위험이 있다.
- (바) 소각설비의 고온부에 작업자의 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.

(6) 잔재물 제거 (열분해 반응기)

- (가) 열분해 반응기가 충분히 냉각되지 않은 상태에서 폐합성수지 투입구를 개방하는 경우 투입구를 통한 산소(공기) 공급으로 인해 내부 인화성 가스가 폭발하거나 화재가 발생할 위험이 있다.
- (나) 열분해 반응기 내부의 인화성 가스를 충분히 배출하지 않고 투입구를 개방하는 경우 잔존해 있는 열분해가스로 인한 화재·폭발 위험이 있다.
- (다) 열분해 반응기 내부에 코크스 등의 잔재물 분진이 부유된 상태에서 작업하는 경우 분진폭발 위험이 있다.
- (라) 열분해 반응기 내부의 잔재물 또는 이물질 제거를 위해 사용하는 공구나 기기에 의해 불꽃이 발생할 경우 잔존해 있는 열분해가스 또는 인화성물질에 화재가 발생할 위험이 있다.

- (마) 열분해 반응기 내부를 충분히 환기시키지 않은 상태에서 작업하는 경우 열분해가스에 포함된 일산화탄소에 의해 중독될 위험이 있다.
- (바) 열분해 반응기 및 주변 설비의 고온부에 작업자의 신체 일부가 접촉하는 경우 화상 위험이 있다.
- (사) 열분해 반응기의 잔재물 제거 시 분진입자가 작업자의 폐에 축적되어 건강에 영향을 미칠 수 있다.

(7) 열분해 잔재물 저장 (저장 설비)

- (가) 열분해 잔재물 저장설비에 탄화물을 장시간 저장할 경우 자기발열에 의해 발화하여 화재가 발생할 수 있다.
- (나) 열분해 잔재물 분진이 사업장에 부유될 경우 분진폭발 위험이 있다.

5. 폐합성수지 열분해 공정 및 설비의 안전대책

5.1. 공통사항

- (1) 전체 생산 공정이 완전히 밀봉되고 가스 누출이 없는지 확인하기 위해 설비 가동 전 기밀테스트를 수행하여야 한다.
- (2) 전체 시스템의 정상적인 작동 압력 및 온도가 보장되도록 하며, 압력 및 온도를 지속적으로 관찰하고 제어할 수 있는 시스템을 구비하여야 한다.
- (3) 인화성 가스 누출 가능성이 있는 지역에 가스 검지기 및 경보장치를 설치하여야 한다.
- (4) 화재감지시스템, 자동소화장치와 소화기를 설치하고, 정상 작동여부를 확인한다.
- (5) 가스 역류방지장치를 설치하여 열분해가스가 역류하는 것을 방지한다.
- (6) 화염방지기를 설치할 때에는 물질특성을 고려하여 적절한 형식을 선정한다.
- (7) 가열기, 열분해 반응기, 소각로 등 인화성 가스의 누출로 인한 폭발 위험성이 큰 설비에 대해서는 가스 누출 가능 지역을 폭발위험지역으로 설정하고, 전기 설비를 해당 가스에 대해 방폭성능을 가진 구조로 하여야 한다.
- (8) 유해가스나 분진 등의 유해물질을 취급하고 있는 공정 및 설비는 유해물질의 가스·증기 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치하여야 한다.

5.2 공정 및 설비별 안전대책

(1) 폐합성수지 투입 (작업장 통로 및 지게차)

- (가) 작업장의 통로 구분 등을 통해 안전통로를 확보하여야 한다.
- (나) 지게차 운전자가 시야를 확보할 수 있도록 과적을 금지하여야 한다.
- (다) 지게차에 경보장치를 설치하여야 한다.
- (라) 지게차가 급선회를 하지 않도록 한다.
- (마) 지게차를 제한된 속도로 운전하여야 한다.
- (바) 열분해 반응기의 투입구 개방 전 내부의 인화성 가스를 제거하여야 한다.
- (사) 원료 투입 전 이상반응 또는 독성물질을 생성할 수 있는 이물질의 포함 여부를 확인하고, 발견 시 이물질 제거 등의 조치를 하여야 한다.

(2) 가열기 점화 및 가열 (가열기)

- (가) 가열기(장치)는 불연성 재료를 사용하고, 최대운전 온도에서의 열팽창에 의한 응력을 충분히 견딜 수 있도록 설계·제작되어야 한다.
- (나) 화염검지기를 설치하여 화염의 유무를 검출하고, 연료를 연소시키는데 필요한 화염이 감지되지 않을 경우 가스 공급을 자동으로 차단하는 장치를 설치하여야 한다. 그리고 화염검지기 검출부 오손, 소손 등의 유무 및 검출기능을 주기적으로 점검하여야 한다.
- (다) 열분해 반응기 내의 온도이상 상승, 전기공급 중단, 불꽃검지기(Flame Detector) 미작동, 배기팬 또는 순환팬의 고장 등 이상상황 발생 시 자동으로 보조 연료의 공급을 차단할 수 있는 긴급차단밸브를 설치하여야 한다. 긴급차단 밸브는 가능한 버너와 가까운 곳에 설치하여야 한다.
- (라) 가열기 내부의 온도가 국부적으로 상승하지 아니하는 구조로 설치한다.
- (마) 가스를 연료로 사용하는 경우 가스 화염의 역화를 방지하기 위한 화염방지기를 설치하여야 한다.
- (바) 가열기에는 각 버너 마다 연료의 연소상태를 확인할 수 있도록 관찰구 등을 설치하여야 한다.
- (사) 가열기의 감시창 및 배기구 등과 같은 개구부는 발화 시에 불이 다른 곳으로 번지지 아니하는 위치에 설치하고 필요한 경우에는 즉시 밀폐할 수 있는

구조로 하여야 한다.

- (아) 가스를 열고 가열기를 점화하기 전에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 연소실 등 가열기 내부를 충분히 환기시켜야 한다.
- (자) 점화에 실패한 경우 연료 공급을 차단하고, 환기 후 다시 점화하여야 한다.
- (차) 정기적으로 연료차단밸브의 기능, 누설 및 이물질 유무를 점검하고 청소 하여야 한다.
- (카) 가열기 버너를 주기적으로 청소하여야 한다.

(3) 열분해 (열분해 반응기)

- (가) 열분해 반응기의 재질은 열과 압력에 견딜 수 있는 것으로 선정하여야 한다.
- (나) 열분해 반응기 및 부품은 최대운전 온도에서의 열팽창에 의한 응력을 충분히 견딜 수 있도록 설계·제작되어야 한다.
- (다) 열분해가스 이송 배관은 청소 및 점검하기 쉬운 구조로 설계하여야 한다.
- (라) 열분해 반응기 내부의 온도를 측정할 수 있는 장치와 열분해 반응기의 과열 경보장치를 설치하고 지속적으로 모니터링 하여야 한다.
- (마) 열분해 반응기 내부의 압력을 수시로 측정할 수 있는 장치와 열분해 과정에서의 비이상적인 급격한 압력 상승을 해소할 수 있는 안전밸브 또는 파열판을 설치하고, 안전밸브로 가스 배출 시 배관 등을 통해 안전한 지역으로 방출 되도록 하여야 한다.
- (바) 열분해 반응기 내부로의 산소 유입 등 비상상황 발생 시 열원 긴급 차단 및 설비의 비상정지가 가능하도록 하여야 한다.
- (사) 열분해 반응기의 투입구 및 배기구 등과 같은 개구부는 발화 시에 불이 다른 곳으로 번지지 아니하는 위치에 설치하고 필요한 경우에는 즉시 밀폐할 수 있는 구조로 하여야 한다.
- (아) 가급적 연속식 압력 측정기를 설치하고, 직독식 압력게이지를 설치한 경우 주기적으로 도압관을 청소하여야 한다.
- (자) 열분해 반응기의 경우 열분해가스의 누설 및 반응기 내부로의 공기 유입 관리가 매우 중요하며, 열분해 반응기 회전부 밀봉부분의 기밀상태를 주기적으로 점검하여야 한다.
- (차) 폐합성수지 투입구 및 배관 연결부 등에 틈새가 발생하지 않도록 관리하고,

내열성 가스킷 설치 등 열분해가스 누출 방지를 위해 밀폐상태를 유지하여야 한다.

- (카) 열분해 잔재물, 왁스, 이물질 등에 의해 열분해가스 배출 배관이 막히지 않도록 주기적으로 관리(청소)하여 열분해 반응기 내부의 열분해가스가 지속적으로 배출되도록 하여야 한다.
- (타) 열분해 반응기의 내압이 정상적으로 운전되는 압력 일지라도 점검구 등의 기밀성을 유지하여야 한다.

(4) 열분해유 저장 및 출하(저장설비)

- (가) 열분해유를 저장·취급하는 대기압탱크에는 통기관 또는 통기밸브를 설치하여야 하며, 통기관 또는 통기밸브의 말단부분에 화염방지기를 설치하여 설비 외부에서 발생한 화염이 설비 내부로 전파되지 않도록 하여야 한다.
- (나) 저장설비 설치지역이 폭발위험지역으로 구분되는 경우 지지대는 내화구조로 설치하여야 한다.
- (다) 열분해유 저장탱크 주위에 열분해유 누출 시 확산 방지를 위해 방유제를 설치하여야 한다.
- (라) 저장설비 및 저장설비에서 탱크로리 등으로 주입하는 설비에 저장설비와 탱크로리의 등전위 유지를 위한 접지설비를 설치하여야 한다.
- (마) 작업자는 제전복을 착용하고 정전기 제거 후 작업하도록 하여야 한다.

(5) 가스 소각 (소각설비)

- (가) 열분해가스를 태우는데 필요한 화염이 감지되지 않을 경우 가스 공급을 자동으로 차단하는 장치를 설치하여야 한다.
- (나) 연소장치의 이상 연소 방지를 위하여 항상 불꽃이 꺼지지 않도록 파일럿 버너를 설치하여야 하고, 자동 점화 설비를 설치하여야 한다.
- (다) 가스소각로의 이상 연소 발생으로 압력 상승 시 대기 중으로 압력을 방출하기 위한 폭발방산구를 설치하여야 하며, 폭발방산구는 근로자 안전에 영향을 주지 않는 장소로 방출하여야 한다. 다만, 직화식 열소각로는 폭발방산구를 설치하지 아니할 수 있다.
- (라) 열분해가스 화염의 역화를 방지하기 위한 화염방지기를 설치하여야 한다.

- (마) 보조연료로 기체 또는 액체연료를 사용하는 경우 연소용 공기 공급팬 또는 배기팬이 작동하지 않으면 보조연료가 공급되지 않도록 연동되어야 한다.
- (바) 인화성 가스농도의 관리를 위한 환기설비를 설치하여야 한다.
- (사) 녹아웃드럼(knock-out drum)을 설치하여 응축물을 제거하는 등 액상의 인화성 물질이 소각설비로 유입되지 않도록 하여야 한다.
- (아) 가스를 열고 연소장치를 점화하기 전에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 연소실 등 가스소각설비 내부를 충분히 환기시켜야 한다.
- (자) 기타 가스소각설비에 대한 세부 사항은 KOSHA GUIDE “연소 소각법에 의한 휘발성 유기화합물(VOC) 처리설비의 기술지침에 따른다.

(6) 잔재물 제거 (열분해 반응기)

- (가) 반응기가 충분히 냉각된 상태에서 잔재물 제거작업을 수행하도록 한다.
- (나) 잔재물 제거작업을 위해 투입구를 개방하기 전에 작업자가 열분해 반응기 내부에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 자동 배기 및 질소 등을 이용한 퍼지 시스템을 설치하고 이를 이용하여 열분해 반응기 내부의 인화성 가스를 제거한 후 작업을 시작하도록 하여야 한다.
- (다) 잔재물 제거는 가급적 작업자가 열분해 반응기 내부에 출입하지 않는 방법으로 수행하도록 한다.
- (라) 물을 살수하는 등 열분해 잔재물이 부유되지 않도록 한다.
- (마) 작업자가 열분해 반응기 내부에 진입하는 경우에는 반응기 온도, 잔류가스 제거 여부, 일산화탄소 및 이산화탄소 농도 등을 확인하여 안전한 온도 및 농도임을 확인한 후 진입한다.
- (바) 잔재물 제거 작업 시 작업자가 방진마스크를 착용하도록 한다.
- (사) 열분해 반응기 내부에서 작업을 수행하는 경우 불꽃 등의 점화원이 발생하지 않도록 방폭공구를 사용하고, 휴대용 연삭기 등의 화기 사용을 금지하여야 한다.

(7) 열분해 잔재물 저장 (저장 설비)

- (가) 열분해 잔재물의 자연발화에 의한 화재위험을 방지하기 위하여 잔재물 저장설비 내 온도상승을 감지하기 위한 온도측정 장치를 설치하여야 한다.

(나) 저장설비의 온도 상승 시 화재발생을 방지하기 위하여 질소 퍼지 또는 살수 설비를 설치하여야 한다.

5.3 관리적 안전대책

- (1) 산업안전보건법에서 정한 규정에 따라 건설물, 기계·기구·설비, 원재료, 가스, 증기, 분진, 근로자의 작업 행동 또는 그 밖의 업무로 인한 유해·위험요인을 찾아내어 부상 및 질병으로 이어질 수 있는 위험성의 크기가 허용 가능한 범 위인지를 평가하고, 그 결과에 따라 필요한 조치를 하여야 한다.
- (2) 작업절차 및 방법이 상세하게 기술된 작업절차서를 작성하여 작업자에게 숙지 시키고, 그에 따라 작업하도록 하여야 한다.
- (3) 작업 시작 전에 작업자에게 작업절차서에 따른 작업절차 및 방법, 비상상황 발생 시 조치사항 등을 충분한 교육시키고 작업을 수행하도록 하여야 한다.
- (4) 작업자는 장비작동절차를 엄격히 준수하고 작동 기록을 작성하며, 장비의 작동 상태를 주의 깊게 모니터링하고 이상이 발견되면 긴급 조치를 하고, 관리자에게 보고해야 한다.
- (5) 열분해 설비 및 배관 등의 부속설비가 열분해 잔재물, 왁스, 이물질 등으로 막히지 않도록 일정 주기를 정해서 청소하여야 한다.
- (6) 설비 가동 중 작업이 불가피한 경우는 작업자가 위험 부분에 직접 접촉하지 않도록 작업자가 위험에 처할 우려가 있는 부위에 덮개·울·슬리브 및 건널다리 등을 설치하여야 한다.
- (7) 열분해설비에 대한 정비·보수작업은 반응기, 배관, 탱크, 열교환기 등 설비 내부의 인화성 물질을 완전히 제거한 후 수행하여야 한다.
- (8) 열분해 반응기 체인이나 하부 롤러 및 스크류 등 작업자가 점검 및 정비 등의 작업 시 끼임(협착) 위험이 있는 경우에는 반드시 운전을 정지한 후 작업을 실시하여야 한다.
- (9) 이송배관, 촉매탑 등 고소작업이 실시되는 설비에는 작업발판이나 안전난간을 설치하고, 작업발판이나 안전난간의 설치가 곤란한 경우에는, 안전대 부착설비를 설치하고 작업자에게 안전대를 착용하게 하는 등의 안전조치를 하여야 한다.
- (10) 환기나 배기가 원활하지 않아 작업자가 유해물질에 노출될 우려가 있는 경우에는 반드시 방독마스크나 송기마스크 등의 적절한 호흡용 보호구와 눈과 피부 보

호용 보호구를 착용하도록 하여야 한다.

5.4 기타 안전 관련 사항

- (1) 열분해설비의 정비 시에는 KOSHA GUIDE “화학공장의 정비보수에 관한 안전관리지침”을 참조하여 작업한다.
- (2) 계기류 고장에 의한 폭발 예방은 KOSHA GUIDE “화학공정 설비의 운전 및 작업에 관한 안전관리 기술지침”에 따른다.
- (3) 열분해가스의 소각 관련 추가 사항은 KOSHA GUIDE “연소 소각법에 의한 휘발성 유기화합물(VOC) 처리설비의 기술지침”의 4에서 규정하는 소각설비의 안전·방호조치를 참조하도록 한다.
- (4) 열분해유의 품질 향상을 위하여 증류탑과 보일러를 추가로 설치하여 운영하는 경우 산업안전보건기준에 관한 규칙의 보일러 관련 규정에 따라 운영한다.

□ 관련 규격 및 자료

- (1) NFPA-86: Standard for ovens and furnaces
- (2) CSA B149.3-15: Code for the field approval of fuel-burning appliances and equipment
- (3) EN 746-2: Industrial thermoprocessing equipment – Part 2: Safety requirements for combustion and fuel handling systems
- (4) 연소 소각법에 의한 휘발성 유기화합물(VOC) 처리설비의 기술지침(KOSHA GUIDE)
- (5) 가스누출감지경보기 설치에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE)
- (6) 통기설비 설치에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE)
- (7) 화염방지기 설치 등에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE)
- (8) 산업안전보건법·시행령·시행규칙, 산업안전보건 기준에 관한 규칙
- (9) 위험물안전관리법·시행령·시행규칙
- (10) 폐기물관리법·시행령·시행규칙

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 서동현 (연구위원, 산업안전연구실)

연구원 : 임진호 (차장, 산업안전연구실)

연구원 : 최이락 (차장, 산업안전연구실)

연구원 : 이준영 (대리, 산업안전연구실)

연구원 : 김형욱 (대리, 산업안전연구실)

연구기간

2022. 02. 01. ~ 2022. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

페플라스틱 열분해 유화 공정의 안전관리 방안
(2022-산업안전보건연구원-750)

발 행 일 : 2022년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 연구위원 서동현

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 042-869-0332

팩 스 : 042-863-9003

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92782-10-2

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체