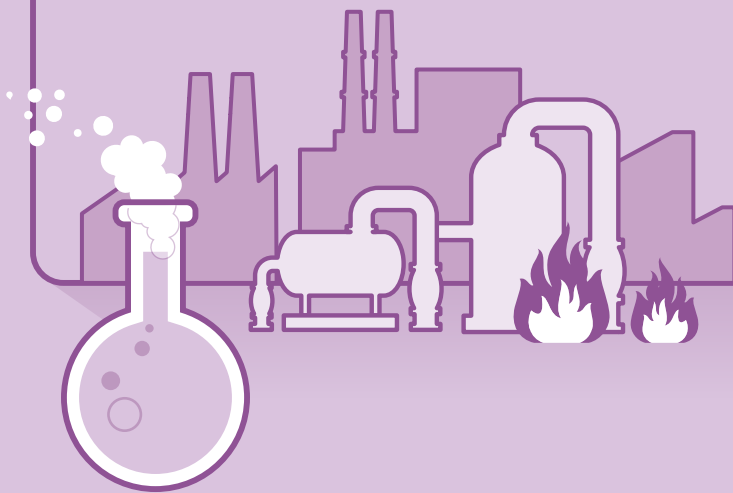


화학사고 사례연구

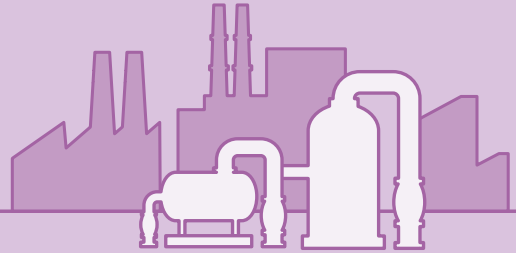
3
화

폐기물 열분해 재생유
생산공정 화재 사고



CONTENTS

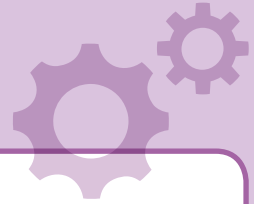




I. 사고개요	05
II. 사업장 현황	06
III. 사고분석	10
IV. 사고발생 원인	15
V. 동종사고 예방대책	16
VI. 사고로부터 얻은 교훈	17
VII. 유사 사고사례	18
VIII. 참고자료	20



용/어/설/명



01 열분해 재생유

- 고분자 폐기물을 처리하는 방식의 하나로, 플라스틱 등의 폐기물을 열분해함으로써 생성되는 연료유를 말한다.

02 재생유 열분해공정

- 고분자와 같이 분자량이 높은 물질을 환원성 분위기에서 열을 가함으로써 분자량이 낮은 물질로 분해시켜 회수할 수 있는 공정 과정으로, 열분해를 통한 유화 기술은 반응 온도와 시간, 반응 용기, 기기 운전 방식, 촉매의 사용 여부 등의 조건에 따라 달라지는데, 반응 온도 350 ~ 450 °C의 액화 공정을 통해 재생유를 얻을 수 있다.

03 폐가스

- 폴리프로필렌(P.P)과 폴리에틸렌(P.E) 등의 고분자 가열 시 분해되어 발생하는 탄화 수소계의 물질로써, 대부분 생성되는 액상생성물($C_6 \sim C_{130}$) 외에 소량 발생하는 기상생성물($C_1 \sim C_5$)이다.

04 폭연

- 작은 부분의 연소로 발생한 열이 곧장 인접부분을 가열하여 충격파를 발생함이 없이 격렬한 연소가 전파되는 현상으로, 그 전파속도는 보통 연소가 전파되는 속도보다 크고 폭굉이 전파되는 속도보다 작다.

05 공정 위험성평가

- 사업장내에 존재하는 위험에 대하여 정성(定性)적 또는 정량(定量)적으로 위험성 등을 평가하는 방법으로, 위험과 운전분석 기법, 공정위험 분석 기법, 작업안전 분석 기법 등이 있다.

06 가스검지기

- 폭발이나 중독, 질식 등의 유해·위험성이 있는 장소에서 작업하는 경우에 작업분위기의 가스조성이 안전한지 확인하기 위해 가스조성을 측정하는 기구를 말한다.

07 가스경보장치

- 가스검지기가 복수로 설치되어 있는 것을 말하며, 1개소에서 농도를 측정하고, 위험 범위에 근접했을 때는 경보를 발하는 장치를 말한다.

I 사고개요



2020년 7월 ○○○사업장의 폐기물 재활용작업장에서 재해자 3명이 재생유 생산을 위하여 열분해로(2호기)에 재활용 폐기물을 투입하는 목적으로 뚜껑을 개방하는 순간 가스냄새와 함께 화재·폭연으로 작업장 내에 있던 작업자 3명이 화상을 입은 사고이다.



사진1 사고 발생 열분해로(2호기, 오른쪽)

01

인명피해

- 부상 : 사내 협력업체 근로자 3명(화상)

02

물적피해

- 열분해로 덮개 및 주변설비 손상

Ⅱ 사업장 현황



○○○사업장은 재생유 생산설비를 설치 후 시운전 중에 있다.

01

재생유 열분해공정

- 사고가 발생한 재생유 열분해공정은 폐기물(알루미늄 파우치 필름 등)을 열분해로에서 열분해(pyrolysis)하여 유분과 알루미늄성분을 회수하는 공정이다.
- 2018년 1월경 설비를 중국에서 수입하였으나 제작사 자체문제로 2019년 11월경 설비 설치가 완료되었다.
- 설비 설치 후에도 공정이 안정화되지 않아 설비개선작업이 장기간 진행되어 정상적인 조업이 이루어지지 않았으며, 사고 발생일 이전 기간에 개선작업이 마무리됨에 따라 운전조건 획득을 위한 시험가동만 실시한 상태였다.
- 사업 개시 이후 설비 및 시공사의 잦은 교체 등과 주원료인 폐기물의 특성으로 인해 설비 관련 자료 및 물질 관련 자료(물리화학적 특성)를 파악하는데 어려움이 있었다.



그림 1 재생유 열분해공정 개략도

II. 사업장 현황

02

사고 발생 물질

① 폐알루미늄 파우치 필름

폐알루미늄 파우치 필름은 얇은 알루미늄 박판에 고분자물질을 도포하여 층(layer)을 이루도록 제작하거나 고분자 필름에 알루미늄을 증착한 것으로, 분리막 및 각종 포장용으로 많이 사용되는 물질이다.

- 원료로 사용하는 필름은 폐기물 중에서 분류·수거하여 사용하므로 단일물질로 특정할 수는 없으나, 일반적으로 유통되는 제품의 구성을 보면 알루미늄, 고분자 물질(주로 P.E나 P.P)로 구성되어 있다고 알려져 있다.

재질구성	역할
P.P, P.E	인쇄 적성, 외부압력과 충격으로부터 보호
잉크(인쇄층)	-
알루미늄 층	산소 및 수분 차단, 차광성
P.P, P.E	내습성, 봉합성

표 1 알루미늄 포장재의 구성(식품의약품안전처)



그림 2 알루미늄층 적층 모형

2 열분해 발생물질

- 원료물질 중 고분자는 가열 시 분해되어 다양한 탄화수소로 분해되는 것으로 알려져 있다. 관련 연구*에 따르면 폴리프로필렌(P.P)과 폴리에틸렌(P.E)의 경우 대부분이 액상생성물($C_6 \sim C_{130}$)을 생성하고, 기상생성물($C_1 \sim C_5$)도 소량 발생하는 것으로 알려져 있다.

관련 연구

- » 「회분식 미분반응기를 이용한 PE계 플라스틱의 열분해 특성 연구」
한국산화기술학회 vol.8, No.3, pp 632-638, 2007
- » 「폴리프로필렌 수지 이용 연료유 생성을 위한 열분해 반응에서 제올라이트계 촉매의 영향」 Korean Chem. Eng. Res., vol.50, No.3, June, 2002, 442-448



- 열분해를 통해 발생하는 기상생성물이 누출되어 점화원과 접촉할 경우 화재·폭연·폭발 등을 유도할 수 있었을 것으로 추정됨에 따라, 이번 사고는 기상생성물이 외부로 누출되면서 점화원과 접촉하여 발생한 화재로 추정된다.

03

사고 발생 설비

1 열분해로

- 해당 설비는 중국으로부터 수입한 설비임에 따라 정확한 명세에 대한 확인이 어려움.

명칭	제조년월	압력(MPa)		온도(℃)		재질	
		운전*	설계	운전*	설계	본체	부속품
열분해로	확인 불가	0.02 ~ 0.03	확인 불가	약 375	확인 불가	확인 불가	

* 운전 압력 및 온도는 실제 공정 운전조건임.

표 2 사고발생 열분해로 주요사양

II. 사업장 현황

04

사고 발생 공정(재생유 열분해공정)

1 재생유 열분해공정 계통도

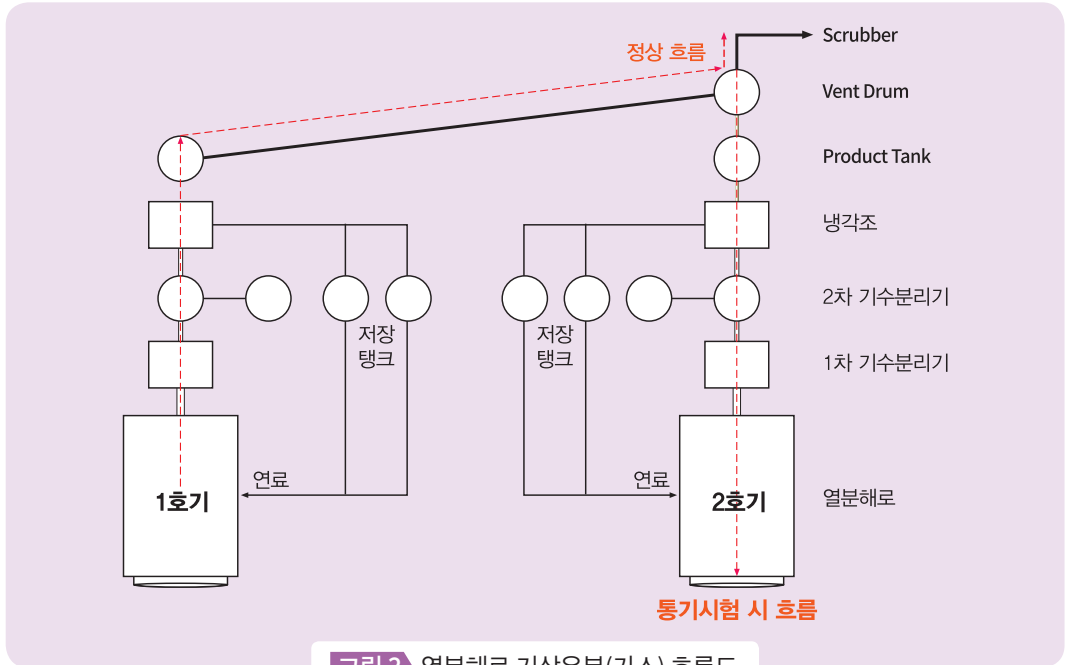


그림 3 열분해로 기상유분(가스) 흐름도

2 재생유 열분해공정 설명

- 공정특성과 운전조건에 적합한 플라스틱류 선별 단계를 통해 주원료인 알루미늄 파우치 폐기물 (주성분: 알루미늄, 폴리에틸렌 수지)을 선별한 후 약 5 ton(1회 투입량)의 원료를 열분해로에 투입한다.
 - 열분해로를 회전시키면서 로의 하단에 설치된 버너를 작동시켜 운전조건(압력 약 0.02 ~ 0.03 MPa, 온도 약 375 ℃)을 맞춘 후 7 ~ 8시간을 가열한다.
 - 1차 기수분리를 통해 열분해로에서 생성된 분해가스 중 고비점성분과 탄화유분 등 타르성분을 중력에 의한 침강방법으로 분리하여 정제시키며, 정제된 분해가스는 2차 기수분리를 통해 추가로 정제시킨다.
 - 냉각조를 거치면서 응축된 고온의 분해가스 유분은 액상으로 회수되어 제품 저장탱크에 저장되고, 응축되지 않은 유분*은 기상으로 회수되어 공정의 연료로 투입된다.
- * 냉각응축되지 않는 기상 유분은 열분해로 버너의 원료로 대부분 사용되고, 일부는 벤트 배관과 연결된 환경 처리설비를 통해 처리됨.
- 유분 회수 후 열분해로 내부에 잔류하고 있는 알루미늄 잔유물에 대한 회수는 현장 작업자에 의해 수작업으로 이루어진다.

Ⅲ 사고분석



01

사고 발생 과정

1 작업 상황

일시	작업 현황
2020년 7월 ○○일 07:52	열분해로 정비(1호기 내부 잔유물 제거 등 세척 작업)
13:00	열분해로(1호기) 내부 원료(알루미늄 파우치 필름) 투입
16:30	원료 투입 완료 후 시운전 가동 준비 완료
16:40	열분해로(1호기) 시운전 가동 시작
17:00	- 열분해로(2호기) 전면부 덮개 개방 후 내부 확인 - 확인 과정에서 연소소음과 함께 상부방향으로 한차례 분출화염 발생
17:05	현장 대피 후 소방서 신고
17:25	소방차 현장 도착 후 부상자 병원 후송 및 주변부 화재 진압 실시
17:40	열분해로 및 주변부 화재 진압 완료

* 7월 □□일에 벤트 드럼(Vent Drum)과 1호기 및 2호기 벤트 배관 설치작업이 완료되었고, 7월 △△일에 열분해로(1호기) 시운전을 실시하면서 발생한 배기가스를 열분해로(2호기)의 배기관을 통해 이송시키는 방법으로 통기테스트를 실시함.

02

사고 원인 분석

① 열분해로 내부 잔류 폐가스(인화성 가스) 누출

- 재해공정의 설비개선 작업이 완료된 후 배관의 정상유통 여부를 확인하기 위해 통기시험을 시행하였다. 통기시험은 사고발생 전일인 7월 △△일에 시행되었으며, 시험 가동 중이던 열분해로(1호기)의 배기가스를 열분해로(2호기)로 이송시킨 후 덮개에 설치된 노즐에서 가스의 분출을 확인하였다(열분해로 2기는 공정말단의 배기관을 동일 벤트드럼에 연결하여 폐가스를 환경처리 설비로 배기하도록 구성되어있어 이러한 방법으로 통기시험이 가능함).
- 통기시험 후 공정 내에 잔류한 폐가스를 제거하는 작업은 별도로 시행하지 않았으며, 2호기 배기관 밸브의 열림/닫힘 상태로 파악되지 않은 상태였다. 그리고, 2호기 배기관의 밸브가 열림 상태로 유지되었더라도 열분해로(2호기)의 덮개가 닫혀있었으므로 배기상태가 불량하였을 것으로 판단됨에 따라 통기시험에 사용된 폐가스가 제거되지 않고 열분해로(2호기)에 잔류하였을 가능성이 매우 높을 것으로 추정된다.
- 사고 당시 열분해로(2호기) 덮개를 분리하자 가스냄새가 났으며, 1호기 쪽에서 착화되어 벤트 배관 및 벤트 드럼(Vent Drum)을 거쳐 2호기로 전파된 후 화재가 확대된 점으로 보아 2호기 원료 투입구가 누설부위로 추정된다.
- 사고 당시 운전상황을 보면, 건물 내부 측에 위치한 열분해로(1호기)는 16시 40분경부터 운전 중이었으며, 출입구 측에 위치한 열분해로(2호기)는 시운전을 위해 준비작업 중이었다. 따라서, 1호기 측에는 운전 시 발생하는 열기에 의해 상승기류가 형성되어 상부의 개구부와 출입구 상부 측으로 배출되고 출입구 하부 측으로 외부의 공기가 유입되는 대류현상이 발생했을 것으로 추정되며, 특히, 건물내부 바닥 쪽의 공기는 출입구로부터 열분해로(1호기)의 하부 쪽으로 이동하였을 것으로 추정된다.
- 따라서, 사고발생 전일(7월 △△일)에 시행된 배관 통기시험에 의해 열분해로(2호기)내부에는 인화성의 폐가스가 체류하고 있어 전면 덮개를 개방할 경우 원료 투입구를 통해 폐가스가 외부로 누출될 수 있었으며, 누출된 가스는 비중이 커 바닥으로 쏟아지고 공기의 흐름에 의해 2호기 측에서 1호기 측으로 이동하였을 것으로 추정된다.

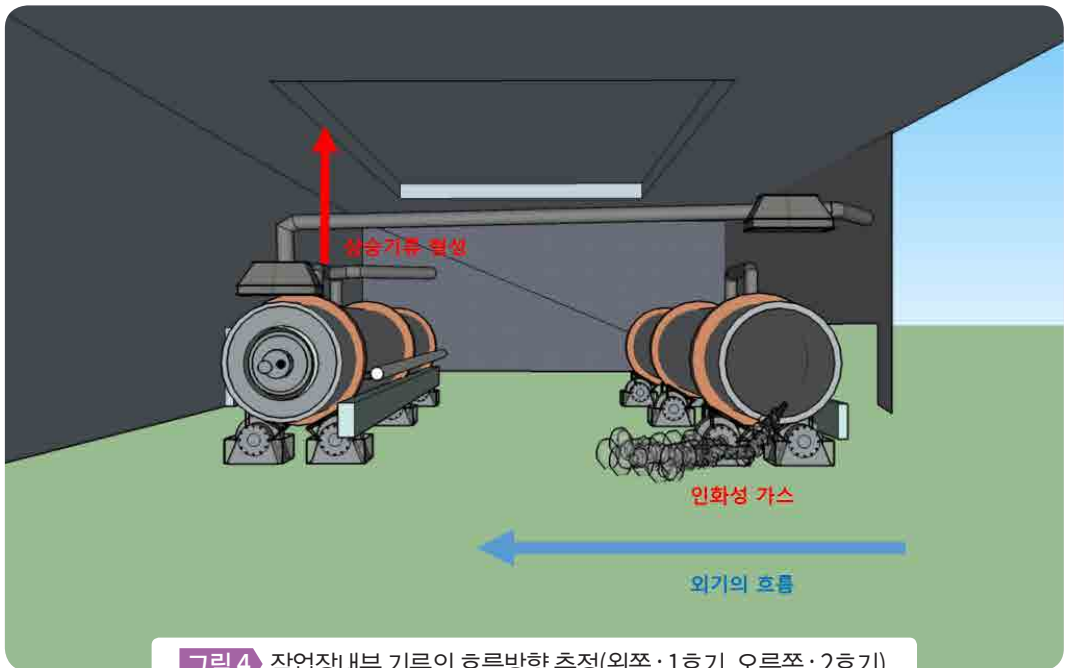


그림 4 작업장내부 기류의 흐름방향 추정(왼쪽: 1호기, 오른쪽: 2호기)

② 불꽃(나화) 또는 기타 에너지원에 의한 착화 가능성

- 사고가 발생한 열분해로는 연소부가 설치된 외부케이스와 내부의 회전하는 로(Furnace)로 구성되어 있다. 열분해로 하부에 설치된 버너에서 발생한 고온의 연소가스는 상부의 회전로를 가열한 후 배기덕트를 통해 외부로 배출되는 구조이다. 내부는 약간의 음압이 형성되어 있어 개구부 등을 통해 외기가 내부로 유입될 수 있으며, 실제 현장 조사 시 확인한 결과 열분해로 하부에 다수의 개구부가 있는 것으로 확인되었다. 따라서, 외부의 가연성 혼합기가 내부로 유입될 경우 버너의 불꽃과 접촉하여 착화 후 외부로 전파될 수 있었을 것으로 추정된다.
- 사고 당시 열분해로 주변에서 스파크가 발생할 수 있는 작업이 없어 금속 충격에 의한 착화 가능성은 낮을 것으로 추정된다. 전기스위치 등 스파크가 발생할 수 있는 전기 설비가 화재발생 지점과 상당히 이격되어 있고, 화재현장 인근에 설치된 연소공기 송풍기 등에서 연소 흔 등 착화의 증거를 관찰할 수 없어 착화원의 가능성은 높지 않았을 것으로 추정되나 완전히 배제할 수는 없다. 습도가 높은 계절적 특징과 설비의 운전온도(375 ℃) 등을 고려하면 정전기와 고온표면에 의한 착화 가능성은 낮을 것으로 추정된다.

III. 사고분석



사진 2 열분해로 하부의 개구부

※ 내부가 연소실이므로 폐가스의 상승효과로 인해 음압이 형성되면서 외기를 흡입하는 효과가 있음.

3 결론

- 이번 사고의 경우, 사고 발생 형태, 사고 발생 공정 조건, 사고 발생 물질 등을 검토한 결과, 열분해로 내부에 체류하고 있던 인화성 가스($C_1 \sim C_5$)가 외부로 누출되어 공기의 흐름을 따라 열분해로 (1호기) 쪽으로 이동 및 하부 개구부를 통해 내부로 유입되어 연소 불꽃과 만나 착화되었고, 이 화염이 열분해로(2호기)로 전파되면서 화재와 폭연이 발생한 것으로 분석된다.

03

시스템적 사고분석

① 근본원인분석(RCA, Root Cause Analysis)

- 사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면 적절한 화재방지조치 없이 작업 수행, 가스검지 및 경보장치를 설치하지 않아 조기 발견 및 조치 미 실시, 설계 및 제작 시 설비 및 공정의 위험성에 대한 안전대책 적용의 적정성이 검토 미 실시 등으로 인하여 사고가 발생한 것으로 추정된다.

단계	사고원인 1	사고원인 2	사고원인 3
1. 결함내용 분류	운전결함	기기결함	운전결함
2. 관련 조직	생산부	설계부	생산부
3. 결함 종류	-	설계	-
4. 결함 대분류	관리체계	관리체계	작업절차
5. 결함 중분류	규정통제 부적절	규정통제 미 실시	불완전한 작업절차
6. 결함 소분류	- 규정통제 없음 - 인화성 가스 누설 및 점화원 접촉으로 화재 및 폭연 발생	- 법규검토체계 없음 - 가스검지 및 경보장치를 설치하지 않아 조기 발견 및 조치 미 실시	- 현장위험 미 반영 - 설비내부 환기조치, 위험물 누출시 조치사항 등을 포함하는 작업계획서를 작성하지 않음

단계	사고원인 4	사고원인 5	사고원인 6
1. 결함내용 분류	운전결함	기기결함	운전결함
2. 관련 조직	생산부	설계부 / 생산부	생산부
3. 결함 종류	-	설계 / -	-
4. 결함 대분류	작업절차	위험성 평가	교육훈련
5. 결함 중분류	사용안함	평가 미 실시	교육훈련 미 실시
6. 결함 소분류	사용 전 인화성 가스를 제거하는 조치를 시행하지 않는 등 절차 및 방법이 부적절함	설비의 설계 및 운전과 정비 단계에서 위험성 평가가 누락되어 잠재위험 발굴이 시행되지 않음	- 교육훈련계획 미 실시 - 취급물질에 대한 위험성 및 안전한 작업방법 등에 대한 교육을 시행하지 않음

단계	사고원인 7	사고원인 8
1. 결함내용 분류	운전결함	설계결함
2. 관련 조직	생산부	설계부
3. 결함 종류	-	설계
4. 결함 대분류	관리체계	설계검토
5. 결함 중분류	규정통제 부적절	설계검토 부적절
6. 결함 소분류	- 규정통제 미 실시 - 운전 및 정비 시 관리자가 설비의 적정성과 현장 환기 상태 등을 수시로 점검하고 이상 시 적절한 조치를 취하여야 하나 시행되지 않음	설계 및 제작 시 설비 및 공정의 위험성에 대한 안전대책 적용의 적정성이 검토되지 않아 이송경로가 형성됨



IV 사고발생 원인

원인 01

열분해로에서 발생한 인화성 가스를 제거하지 않음

- 사고발생 공정은 폐알루미늄 파우치 필름을 열분해하는 공정으로 공정 내에는 액상물질 뿐만 아니라 기상물질도 존재하므로 기체 상태의 물질이 누출 후 점화원과 접촉할 경우 화재·폭연·폭발 등을 유도할 수 있다.
- 통기시험 후 공정 내에 잔류하고 있는 폐가스(인화성 가스)를 제거하는 작업은 별도로 시행하지 않았으며, 2호기 배기관 밸브의 열림/닫힘 상태도 파악되지 않았다. 그리고 2호기 배기관의 밸브가 열림 상태로 유지되었더라도 열분해로(2호기)의 덮개가 닫혀있었으므로 배기상태가 불량하였을 것으로 판단된다.
- 그럼에도 불구하고, 열분해로 내부에서 발생한 폐가스를 제거하지 않고 외부로 누출되도록 운전하여 결국 점화원에 의한 화재 및 폭발사고가 발생하였다.

원인 02

가스 감지 및 경보장치 미설치

- 설비 개선 작업이 완료된 후 배관의 정상유통 여부를 확인하기 위해 통기시험을 시행하였다. 통기 시험은 사고발생 전날 시행되었으며, 시험 가동 중이던 열분해로(1호기)의 배기가스를 열분해로(2호기)로 이송시킨 후 덮개에 설치된 노즐에서 가스의 분출을 확인하였다.
- 그러나, 공정 내에 잔류하고 있는 가스를 감지하고 경보할 수 있는 장치가 설치되지 않아 작업 공간 내 화재·폭발이 발생할 수 있는 이상 상태인지 여부를 사전에 확인할 수 없는 상황에서 시험을 실시하여 사고가 발생하였다.

원인 03

신규설비에 대한 공정 위험성 검토 미흡

- 신규 설비 설치 시에는 설비 구조, 운전방법, 사용물질이 가지고 있는 유해·위험요인을 파악하여 부상 및 질병으로 이어지지 않도록 위험성평가를 철저히 실시하여야 하며, 특히 금번 사고와 같은 폐기물 재활용 작업장에서는 위험성평가는 더욱 더 중요하다.
- 이러한 신규 설비를 제작하면서도 인화성 가스에 의한 화재·폭발의 위험성에 대한 검토가 전혀 이루어지지 않았다.

V 동종사고 예방대책



대책 01

열분해로에서 발생한 인화성 가스 사전 제거

- 사고가 발생한 열분해로는 재활용 폐기물 열분해 시 발생하는 인화성 가스가 열분해로 외부로 누출될 수 있는 구조이며, 이 경우 인화성 가스가 누출되어 점화원에 의한 화재·폭발 위험성이 상당히 높다.
- 통기시험 후에는 공정 내에 폐가스가 잔류되지 않도록 불활성 가스를 사용하여 내부 공기를 사전에 치환(Purge)하는 등의 조치가 필요하다.
- 따라서, 이러한 사전 조치를 포함한 열분해 과정 중 발생할 수 있는 인화성 가스를 사전에 제거하는 안전작업절차를 수립하여야 한다.

대책 02

가스 감지 및 경보장치 설치

- 배관의 건전성을 확인할 수 있는 시험인 통기시험 실시 후 공정 내에 잔류하고 있는 폐가스를 감지하고 경보할 수 있는 가스누출감지경보기 등의 설치가 필요하며, 폐가스를 감지할 경우에는 통풍·환기 등의 조치를 실시하여야 한다.

대책 03

신규 설비에 대한 공정 위험성 검토

- 신규 설비 설치 시에는 설비 구조, 운전방법, 사용물질이 가지고 있는 유해·위험요인을 파악하여 부상 및 질병으로 이어지지 않도록 위험성평가를 철저히 실시하여야 한다.
- 특히, 금번 사고와 같이 국내에서 폐기물을 재활용하는 사업장에서는 화재·폭발의 위험성에 대한 평가가 더욱 더 중요하다.

Ⅵ 사고로부터 얻은 교훈



「재생유 열분해공정 화재 사고」로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈 01

공정 내 위험물질 미인지는 사고의 원인이다!

- 이번 사고는 열분해 시 발생할 수 있는 폐가스의 물리적 위험성에 대하여 제대로 인지하지 못하면서 시작되었다.
- 사업주는 기본적으로 공정에서 제조, 취급, 저장하는 모든 유해·위험물질 및 운전 중에 발생할 수 있는 유해·위험한 물질의 위험성을 파악하고 있어야 한다.
- 물질에 대한 위험성을 파악한 후 제거하는 것이 사고를 방지하고 피해를 줄이는 가장 첫 번째 방법이라 할 수 있다.

교훈 02

점검, 정비 없는 화학설비의 사용은 사고의 원인이다!

- 이번 사고는 설비 설치 후 공정이 안정화되지 않아 설비 개선작업이 장기간 진행되어 정상적인 조업이 이루어지지 않고 시험 가동 중인 상태에서 발생하였다.
- 모든 화학설비는 공정 시운전 과정 중 화재·폭발의 위험이 발생할 수 있으며, 이런 위험은 화학설비의 주기적인 점검, 정비를 통해 발견하고 제거할 수 있다.
- 화학설비의 점검, 정비를 수행하기 위해서는 화학설비의 이상 상황을 유발할 수 있는 안전적 측면의 위험과 경제적 측면의 위험을 모두 고려하여 관리하여야 한다.
- 이러한 화학설비의 점검, 정비, 기록관리 활동을 통해 화학설비의 현재 위험 상태를 파악하고 위험에 미리 대응하는 것이 사고예방의 방법이라 할 수 있다.

교훈 03

법은 최소한의 요구 사항이고, 위험성평가는 필수사항이다!

- 「산업안전보건법」과 동법 시행령, 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 요구하는 안전보건 수칙은 작업자의 안전보건을 지키기 위한 최소한의 요건임을 인지하고 법에서 요구하는 안전수칙은 필히 준수하여야 한다.
- 위험성평가는 정상적인 공정 가동 중에 발생 가능한 공정 위험성평가와, 일상 작업과 정기보수 작업 등 모든 작업에 대한 위험성을 도출해내는 작업 위험성평가로 구분할 수 있다.
- 특히, 작업 위험성평가의 경우 작업 내용에 치중해 물질의 위험성에 대해서는 소홀히 하는 경우가 있을 수 있으므로 다양한 관점에서 위험성을 검토하여야 한다.

VII 유사 사고사례



01

페비닐 재생공정의 폐가스 누설에 의한 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2020년 5월
사고장소	울산 소재 페비닐 재생유공장
피해내용	인적피해 (사망 1명), 물적피해 (설비소손)
사고내용	• 폐플라스틱 열분해 유화공정을 가동 중 발생된 폐가스에 의해 화재가 발생한 사고임

02

열분해로 투입구 이물질제거 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2016년 9월
사고장소	전남 소재 페비닐사용 재생유 생산공장
피해내용	인적피해 (부상 1명), 물적피해 (없음)
사고내용	• 열분해로 투입구에 걸려있는 철사를 제거하기 위하여 휴대용 연삭기를 사용하여 철사를 절단 하던 중 열분해로 내부에서 화염이 발생한 사고임

Ⅶ. 유사 사고사례

03

보일러 연료유 생산공장 화재사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2010년 8월
사고장소	충남 소재 연료유 재생공장
피해내용	인적피해 (사망 1명, 부상 2명), 물적피해 (공장전소)
사고내용	• 폐비닐 압축펠렛을 열분해한 후 정제하여 보일러 연료유를 생산하는 작업 중 화재가 발생한 사고임

04

페플라스틱 재생가스 생산 공정 수리 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2011년 11월
사고장소	경기 소재 페플라스틱 재생가스 생산공장
피해내용	인적피해 (사망 2명, 부상 2명), 물적피해 (설비 일부 소손)
사고내용	• Rotary Kiln로 내부에서 용접작업 중 용접불꽃이 작업복에 옮겨 붙어 화재가 발생한 사고임



VIII 참고자료

01

산업안전보건법, 고용노동부; 2021

02

산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006

03

중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2020

04

KOSHA Guide P-151-2016 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침

폐기물 열분해 재생유 생산공정 화재 사고

폐기물 열분해 재생유 생산공정 화재 사고사례 (2020. 7.)



※ 본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.



사고개요

2020년 7월 ○○○사업장의 폐기물 재활용작업장에서 재해자 3명이 재생유 생산을 위하여 열분해로에 재활용 폐기물을 투입하는 목적으로 뚜껑을 개방하는 순간 가스 냄새와 함께 화재·폭연으로 작업장 내에 있던 작업자 3명이 화상을 입은 사고임.

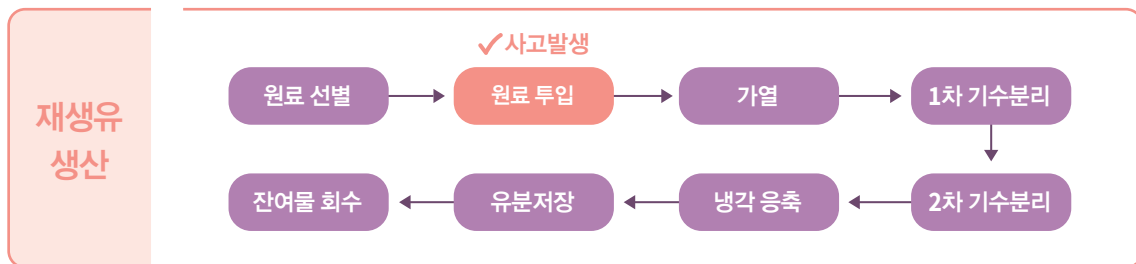


▶ 화재가 발생한 열분해로



사고발생공정 및 물질

- 작업 공간 내부에 체류하고 있던 인화성 가스가 누출되어 열분해로 쪽으로 이동 및 내부로 유입되어 연소 불꽃과 만나 착화 후 배관을 타고 전파되면서 화재·폭연이 발생함.



○ 사고발생물질

- 폐알루미늄 파우치 필름(원료) 및 열분해 발생물질(인화성 가스)

- ➔ 원료로 사용하는 필름은 폐기물 중에서 분류·수거하여 사용하므로 단일물질로 특정할 수는 없으나, 일반적으로 유통되는 제품의 구성을 보면 알루미늄, 고분자 물질(주로 P.E나 P.P)로 구성되어 있음. 원료 열분해 시 액상생성물($C_6 \sim C_{130}$)이 생성되면서 인화성을 지닌 소량의 기상생성물($C_1 \sim C_5$)이 발생함.

폐기물 열분해 재생유 생산공정 화재 사고

폐기물 열분해 재생유 생산공정 화재 사고사례 (2020. 7.)



사고발생원인



○ 열분해로에서 발생한 인화성 가스를 제거하지 않음

- 공정 시운전(통기시험) 과정 중 열분해로 내부에서 발생한 폐가스(인화성 가스)를 배기관을 통해 제거하지 않고 외부로 누출되도록 운전하여 점화원에 의한 화재 및 폭발사고가 발생함.

○ 가스 감지 및 경보장치 미설치

- 공정 내에 잔류하고 있는 가스를 검지하고 경보할 수 있는 장치가 설치되지 않아 화재·폭발이 발생할 수 있는 이상 상태 여부를 사전에 확인할 수 없는 상황에서 통기시험을 실시함.

○ 신규설비에 대한 공정 위험성 검토 미흡

- 설비 설치 시에는 설비 구조, 운전방법, 사용물질이 가지고 있는 유해·위험요인을 파악 하여야 하나, 인화성 가스에 의한 화재·폭발의 위험성에 대한 검토가 전혀 이루어지지 않음.



동종사고 예방대책



○ 열분해로에서 발생한 인화성 가스 사전 제거

- 재활용 폐기물 열분해 시 발생하는 폐가스(인화성 가스)는 열분해로 외부로 누출될 수 있는 구조임에 따라 공정 내에 폐가스가 잔류되지 않도록 불활성 가스로 사전에 치환(Purge)하는 등의 내용을 포함한 안전작업절차를 수립하여야 함.

○ 가스 감지 및 경보장치 설치

- 통기시험 실시 후 공정 내에 잔류하고 있는 폐가스를 감지하고 경보할 수 있는 가스누출감지경보기 등의 설치가 필요하며, 폐가스를 감지할 경우에는 통풍·환기 등의 조치를 실시하여야 함.

○ 신규 설비에 대한 공정 위험성 검토

- 신규 설비 설치 시에는 설비 구조, 운전방법, 사용물질이 가지고 있는 유해·위험요인을 파악하여 부상 및 질병으로 이어지지 않도록 위험성평가를 철저히 실시하여야 함.

작 성

구 채 칠 [안전보건공단 경북지역본부 화학사고예방센터(구미)]
권 남 호 [안전보건공단 경북지역본부 화학사고예방센터(구미)]
김 재 범 [안전보건공단 경북지역본부 화학사고예방센터(구미)]

검 토

서 찬 석 [안전보건공단 중대산업사고예방실]
임 지 표 [안전보건공단 중대산업사고예방실 공정안전부]
강 성 광 [안전보건공단 중앙사고조사단]
윤 영 호 [안전보건공단 중앙사고조사단]
김 상 중 [안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산)]
구 채 칠 [안전보건공단 경북지역본부 화학사고예방센터(구미)]
황 성 훈 [안전보건공단 대전세종광역본부 광역조사센터(대전)]

「폐기물 열분해 재생유 생산 공정 화재 사고」사례 연구

2021-중대산업사고예방실-314

발행일	2021년 6월
발행인	한국산업안전보건공단 이사장 박두용
발행처	한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실
주 소	울산광역시 중구 종가로 400
전 화	(052) 703-0500
홈페이지	http://www.kosha.or.kr

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함

화학사고 사례연구

3호

폐기물 열분해 재생유
생산공정 화재 사고