

재해원인조사 의견서

한국 산업 안전 보건공단

이 의견서는 「산업안전보건법」 제56조에 따라 중대재해 원인조사를 실시하고 재해 원인에 대한 의견을 작성한 것으로

「산업안전보건법」 제56조의 ‘중대재해 원인을 규명하여 산업재해의 예방 대책 수립’을 통한 안전 확보에 이바지함을 목적으로 하고 있다.

그러므로 이 의견서는 산업현장의 안전·보건을 증진시킬 목적 이외의 용도로 사용되어서는 아니 된다.

재해조사 의견서

1. 재해발생 사업장 개요

사업장명 (원칭)	GS칼텍스(주) 여수공장	전화번호 (Fax)	
소재지	전남 여수시	대표자 (안전보건관리책임자)	C/D (E)
업종 (표준산업분류)	원유정제처리업	근로자수	493명
산재관리번호 (사업개시번호)		생산품 (사업내용)	원유정제품 (RFCC탑 MF공정)

2. 재해자 인적사항 및 상해정도

연번	성명	출생년도	소속	고용형태 (상용일용시간제등)	상해정도 (사망/부상)	비고
1	A	1985년	GS칼텍스(주) 여수공장	상용	부상	황화수소 중독
2	B	1995년	GS칼텍스(주) 여수공장	상용	부상	황화수소 중독

3. 재해발생 경위

2023. 03. 02.(목) 12시 45분경 전남 여수시 소재 GS칼텍스(주) 여수공장 HOU¹⁾부문 RFCC²⁾탑 공정 가동중지 과정 중 GS칼텍스(주) 여수공장 소속 근로자가 폐수집수정(S-305) 이상현상³⁾ 확인을 위해 접근 중 쓰러졌고 이를 구조하던 동료 근로자도 구조중 쓰러진 재해임(황화수소 중독 2명)

- 1) HOU(Heavy Oil Upgrade):원유처리 공정에서 발생하는 고비점 성분을 경질성이 높은 경질유로 전환하는 공정
- 2) RFCC(Residual Fluid Catalytic Cracking):유동층 촉매 접촉을 통해 중질유를 경질유로 분해하는 공정
- 3) 집수정에서 거품(Bubbling) 발생

4. 재해조사 내용

【본 조사의견서는 광주지방고용청 산재예방지도과(전남권중대산업사고예방센터) 합동 조사 결과와 사업장 관계자의 면담 및 현장 확인내용을 근거로 작성함】

가. 사고조사 개요

1) 사고조사반

- 광주지방고용노동청
(전남권중대산업사고예방센터) 감독관
- 전남동부지사
(화학사고예방센터) 차장, 과장
(건설보건부) 차장, 과장
(산업안전부) 과장

2) 사고발생 인지

- 전남권중대산업사고예방센터 유선 접수[2023.03.02.(목) 13:42]

3) 사고대응 조치

○ 초동대응 및 1차 현장조사[2023.03.02]

- 광주지방고용노동청
- 여수고용노동지청
- 전남동부지사
(화학사고예방센터) 센터장, 과장, 과장
(건설보건부) 차장, 과장
(산업안전부) 과장

○ 2차 현장조사[2023.03.03]

- 광주지방고용노동청(전남권중대산업사고예방센터) 감독관
- 전남동부지사(화학사고예방센터) 센터장, 과장

○ 3차 현장조사[2023.03.06]

- 전남동부지사(화학사고예방센터) 차장

○ 4차 현장조사[2023.03.07]

- 전남동부지사(화학사고예방센터) 차장

- 5차 현장조사[2023.03.09]
 - 전남동부지사(화학사고예방센터) 차장
- 6차 현장조사[2023.03.10]
 - 전남동부지사(화학사고예방센터) 과장

4) 관계자 면담 및 의견청취

- GS칼텍스(주) 여수공장
 - (RFCC팀) F 팀장, G 주임, H 사원, I계장
 - (HOU기술팀) J 책임, K책임
 - (비상대응팀) L 팀장

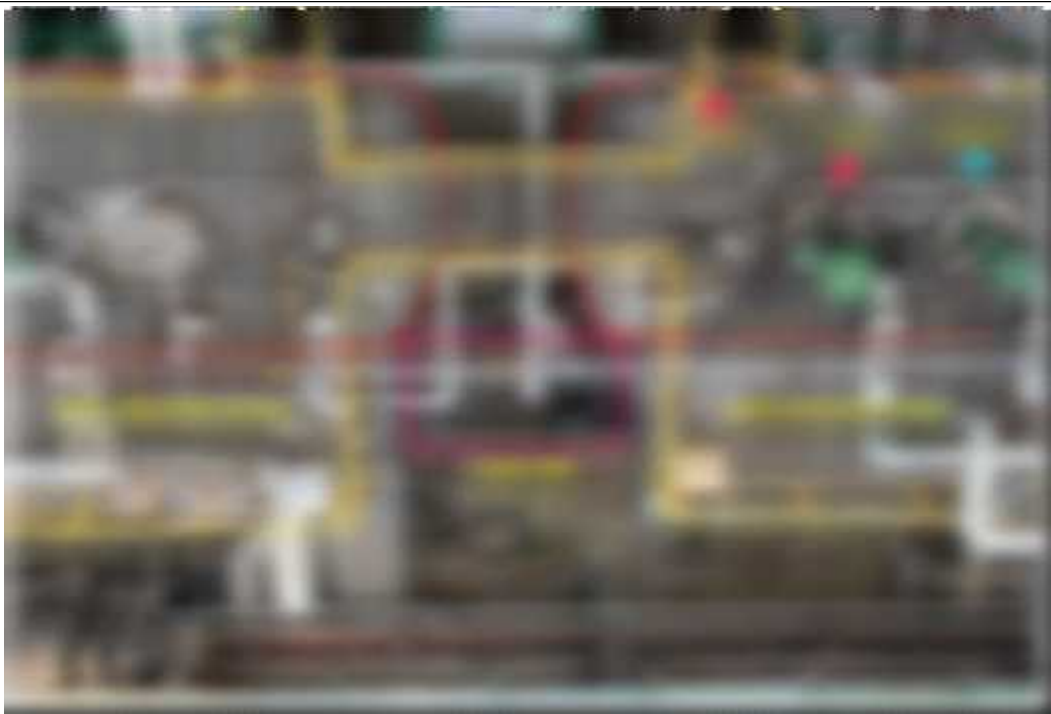
나. 발생 장소 : GS칼텍스(주) RFCC팀 내 Oily storm water pit 주변



[사진 1] RFCC공정 전경



[사진 2] 재해발생 장소(Oily storm water pit, S-305) 주변 / 재해자 위치 1



[사진 3] 재해발생 장소(Oily storm water pit, S-305) 주변 / 재해자 위치 2

다. 재해발생 관련설비 및 물질

1) 관련설비

[표 1] 사고관련 설비 명세

Item No.	설비명(사용목적)	용량(m³)	압력(kg/cm²)		온도(°C)		재질	비고
		크기(mm)	설계	운전	설계	운전		
C-324	Closed drain collecting Drum(C/D Drum, 공정설비 및 배관 등의 오일성분 회수를 위한 집유 드럼)	65					C.S	1995년 설치
		3500mmID*7000mmT/T						
C-325	Oily water sewer collecting drum(OWS Drum, 유분이 포함된 폐수 집수 드럼)	65					C.S	1995년 설치
		3500mmID*7000mmT/T						
S-305	Oily storm water pit (폐수집수정)	15					콘크리트	1995년 설치
		3700*2000*2300mm						

2) 재해발생 관련 물질(황화수소)

[표 2] 황화수소 물리적 특징 및 독성

물질명	CAS No.	연소범위 (%)	인화점 (°C)	발화점 (°C)	독성값 (ppm)	노출기준 (ppm)	증기밀도 (air=1)	냄새역치 (ppm)	비고
황화수소 (Hydrogen sulfide)	7783-06-4	4.3~46	극산화성 가스	260	LC ₅₀ :444 (흡입)	TWA:10 STEL:15	1.19	0.05	

- 황화수소는 무색의 유독한 기체로, 달걀 썩는 냄새가 특징적임
- 공기보다 약간 무겁기 때문에 환기가 잘되지 않는 장소에서는 아래에 쌓이는 경향이 있으며,
- 처음에는 냄새가 심하게 나서 자각할 수 있으나 후각피로가 빠르게 나타나므로 가스가 누출된 곳에 있는 사람은 시간이 조금이라도 지나면 위험수준에 이를 때까지 깨닫기 어려울 수 있음

[표 3] 황화수소 노출수준에 따른 중독증상¹⁾

노출수준 [ppm]	황화수소 중독증상
0.01 ~ 1.5	특징적인 달걀 썩는 냄새로 황화수소 노출을 파악할 수 있음
2 ~ 5	장기간 노출되면 메스꺼움, 눈물흘림, 두통 또는 수면부족 유발할 수 있음 (천식환자는 기관지 문제 발생가능)
20	피로, 식욕부진, 두통, 과민성, 기억력 저하, 현기증이 나타날 수 있음
50 ~ 100	1시간이 경과하면 결막염, 호흡기자극, 소화 장애 및 식욕부진 유발할 수 있음
100 ~ 150	후각상실(후각피로 또는 마비)
200 ~ 300	1시간이 경과하면 결막염 및 호흡기 자극, 장기간 노출되면 폐부종 발생 가능
500 ~ 700	5분 이내에 의식을 잃고 쓰러짐, 30분 이내에 심각한 눈 손상, 30~60분이 지나면 사망
700 ~ 1000	1~2회 호흡이내에 의식을 잃고 쓰러짐, 호흡정지, 몇 분 내 사망
1000 ~ 2000	거의 즉시 사망

라. 사고발생과정

- 09:00경 RFCC팀 내 MF(Main Fractionator) 지역 Shut-down작업 시작(원료 투입 중단)
- 09:30 공정배관내 잔류 Oil 회수를 위해 Oily storm water pit(S-305) Line up
~ 10:00 변경(S-305↔C-325) → (S-305↔C-324)
- 10:00경 S-305주변 인화성가스 감지기(ARF-520) 경보발생 후 조종실 근무자 I가 MF지역 근로자(특정인을 지정하지 않음)에게 확인 및 조치요청
- 10:10경 현장에서 인화성가스 감지기(ARF-250) 확인결과 ‘이상없음’ 회신
(회신자 확인불가)
- 11:00경 황화수소 감지기(ARF-252, 253) 경보 발생하여 I이 현장에 확인요청
(특정인 지정하지 않았으며, 확인결과 회신 받지 못함)

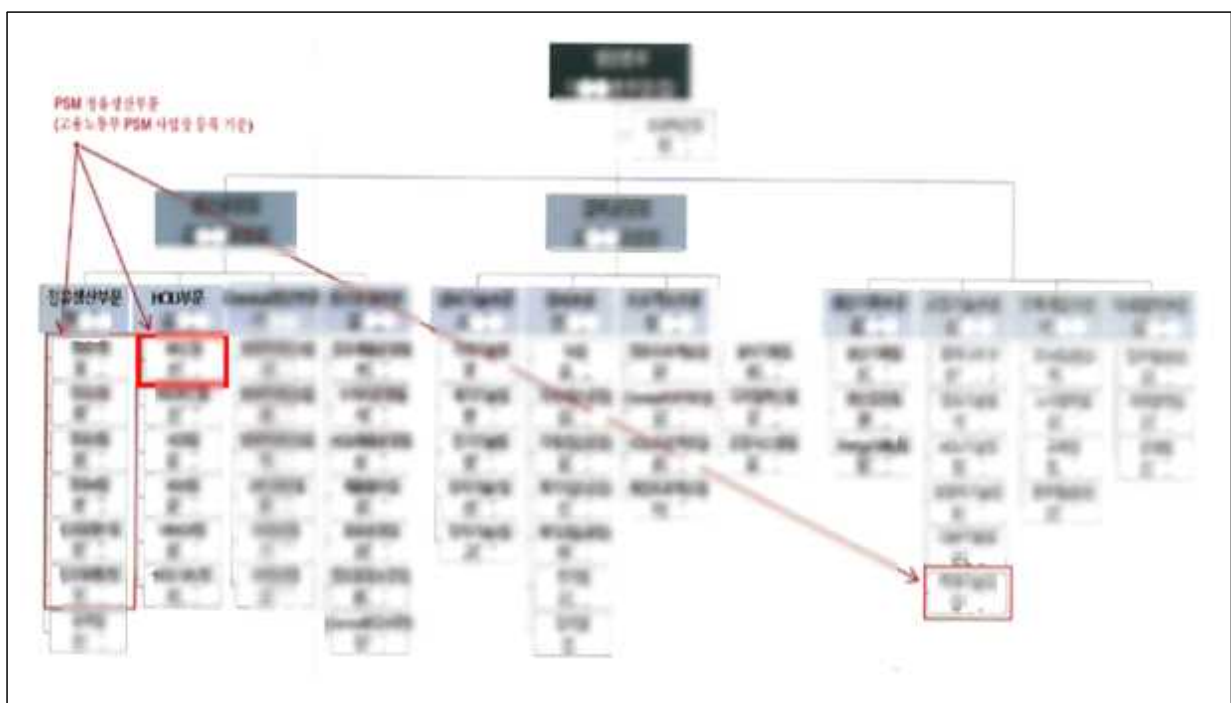
1) 출처 : OSHA(Hydrogen sulfide hazards)

- 12:30경 점심식사 후 현장으로 복귀하던 재해자B와 H가 폐수집수정(S-305)에서 거품발생 현상 목격 후 지나가던 재해자A를 호출함
- 12:40경 M이 현장확인을 위해 사다리를 통해 폐수집수정(S-305) 부근으로 내려가던 중 **쓰러졌고**, 이를 목격한 **재해자B가 재해자A를 구조중 쓰러짐**
(H은 두 사람이 쓰러지는 것을 목격하고 조종실에 무전기로 ‘CD드럼, 구급차’ 2회 가량 반복 통보 후 대피)
- 12:40 H의 무전을 청취한 현장 운전원 G이 동료인 O, P와 함께 쓰러져 있던 재해자A, 재해자B를 구조하였고, 조종실에서 사내 비상대응팀 출동 요청 후 출동한 비상대응팀이 재해자 2명 병원 후송

마. 현장확인 및 조사내용

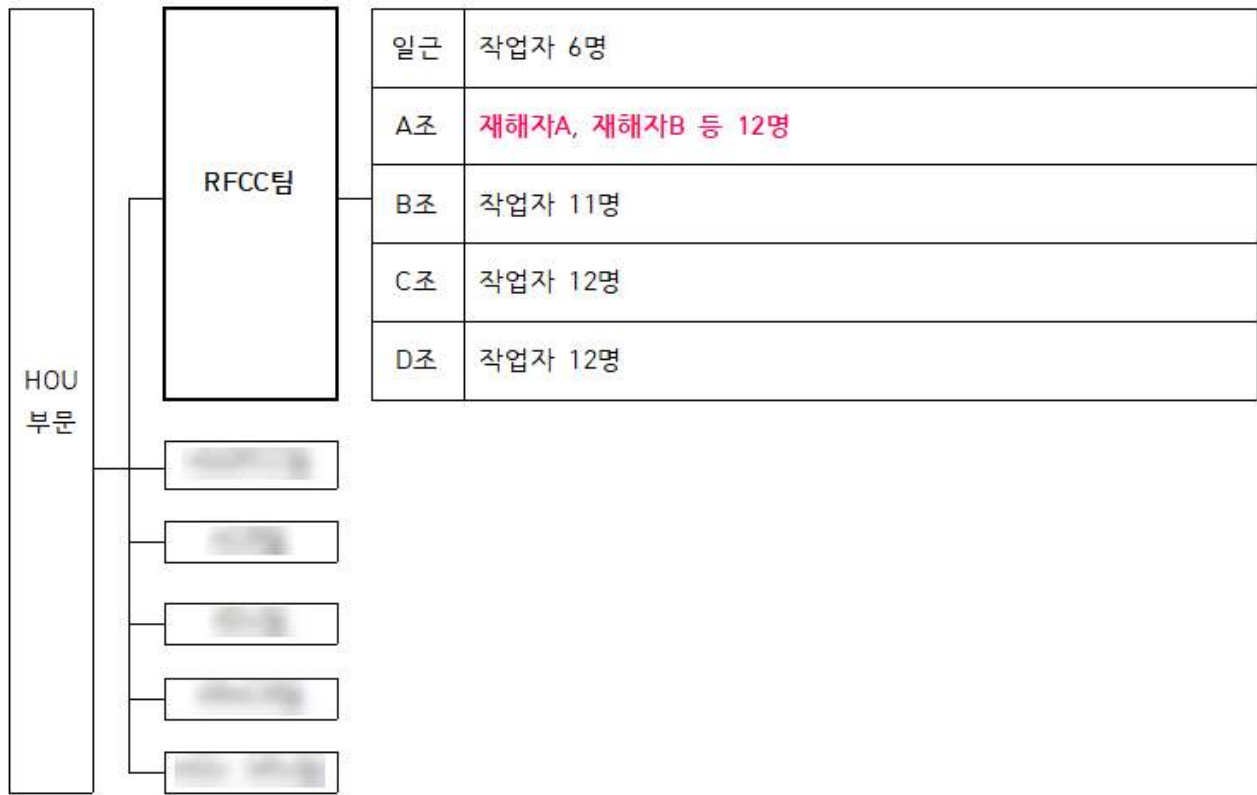
1) 사업장현황(GS칼텍스(주) 여수공장 조직도)

- 당 사업장은 원유정제처리업 사업장으로서, 생산공장의 경우 4부분으로 분류되어 있음[그림 1]
- 사고가 발생한 RFCC팀은 HOU부문에 소속되어 있음



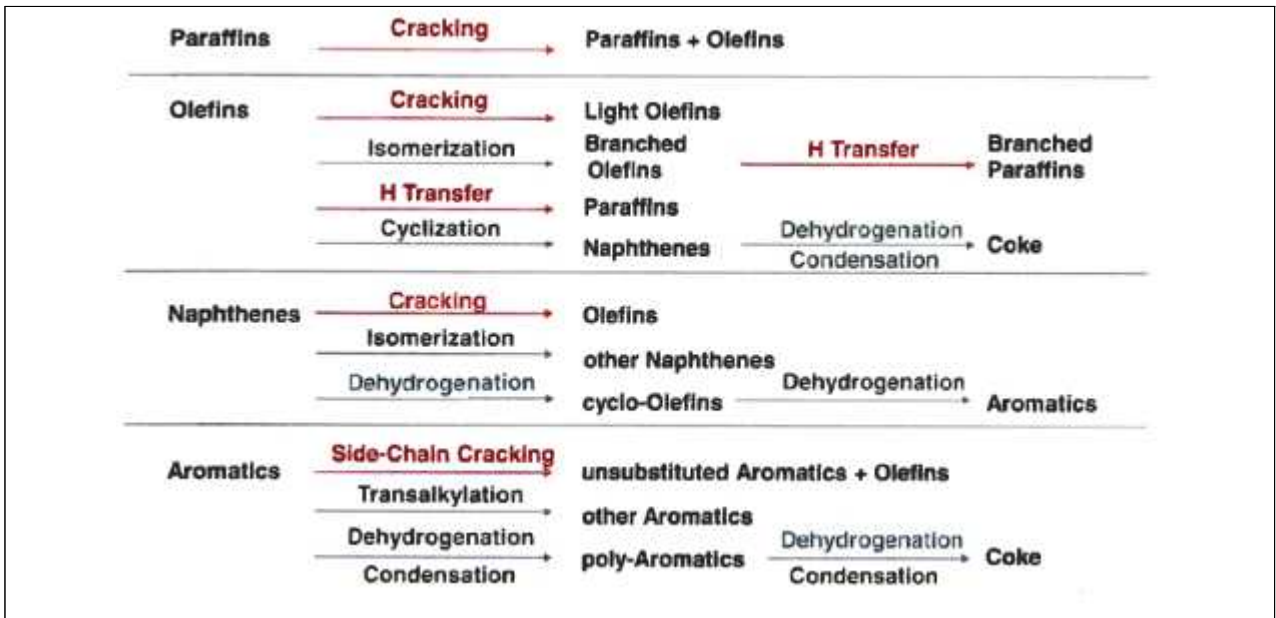
[그림 1] 생산본부 조직도

[표 4] HOU부문 조직도



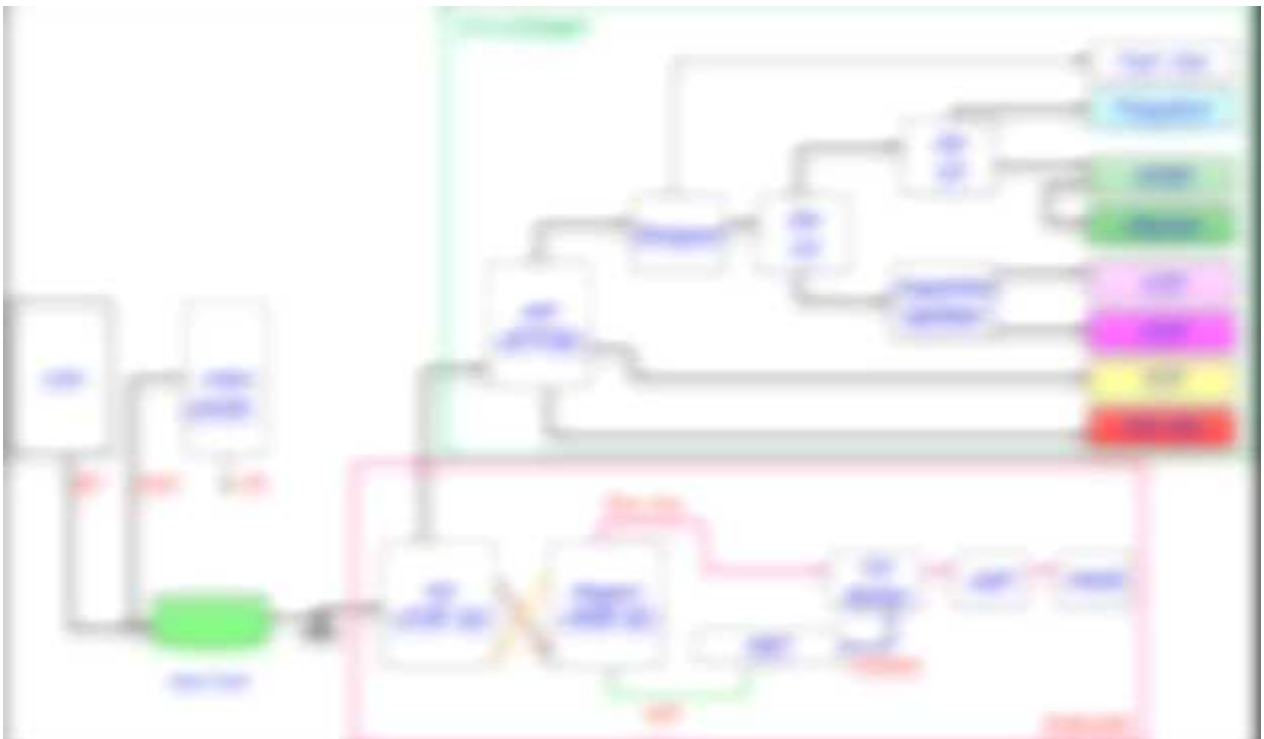
2) RFCC(Residual Fluid Catalytic Cracking, 잔사유유동층접촉분해)공정

- 고비점의 잔사유를 스팀과 함께 유동층 촉매반응기로 분사하여 접촉 반응시켜 프로필렌, 가솔린, 디젤유분 등을 생산하는 공정으로서,
- 재생탑이 연결된 유동층 촉매반응기, 주정제탑(Main Fractionator), 탈기기(Stripper), 부탄분리탑(Debutanizer), 프로판분리탑(Depropanizer), 납사분리탑(Naptha splitter), 황회수공정(SRU, Sulfur Recovery Unit)으로 구성되어 있음
- 반응공정 및 부속설비를 **Converter(전환)구역**, 후속공정인 정제 및 분리공정을 **MF(main Fractionator)구역**으로 명명함[그림3 참조]
- 또한 RFCC공정은 원료중 황성분(sulfur)이 약 2 wt% 가량 포함되어 있어 다음과 같은 과정을 통해 황화수소(H_2S)가 생성될 수 있음



- (1) 고온에서 열분해(Thermal cracking) 반응 및 촉매분해(catalytic cracking)반응으로 위와 같이 분해 (cracking), 이성질화(isomerization), 수소이동(hydrogen transfer), 고리화(cyclization), 탈수소 (dehydrogenation), 축합(condensation) 등 다양한 반응이 일어남
- (2) 수소이동(hydrogen transfer)반응과 탈수소(dehydrogenation)반응에 의해 생성된 수소(H₂)가 황성분 (sulfur)과 반응하여 황화수소(H₂S)가 생성됨

[그림 2] RFCC공정 황화수소 생성 경로²⁾

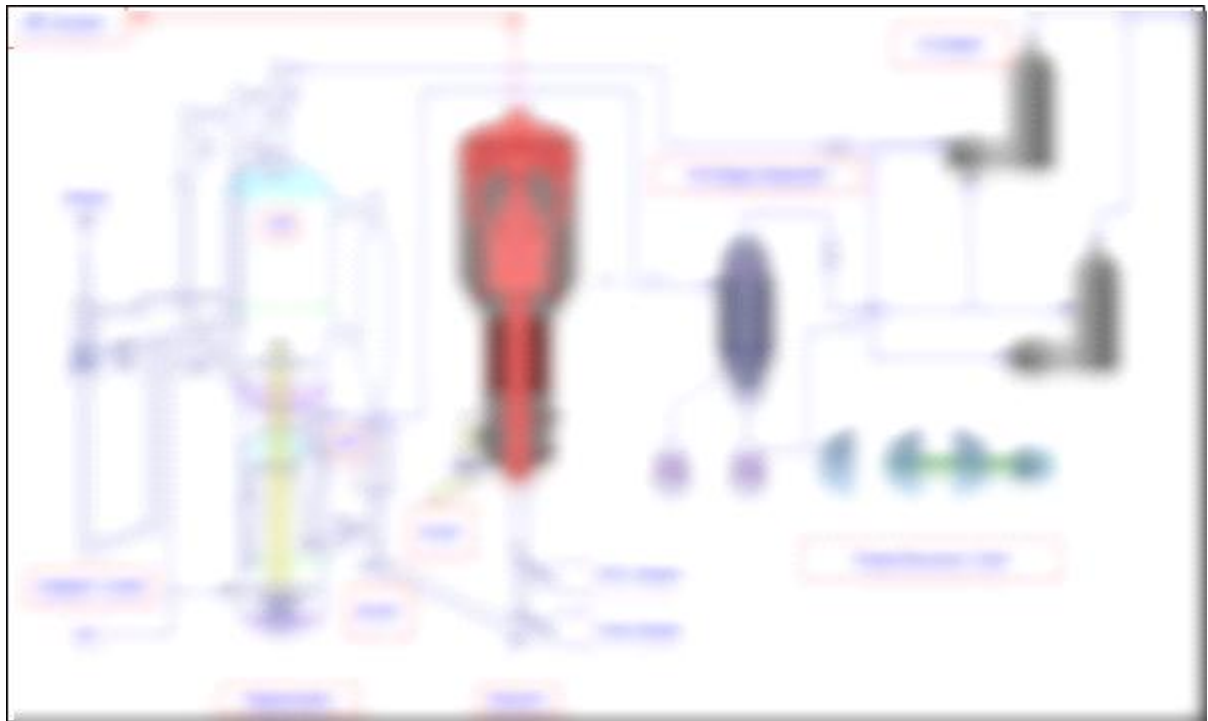


[그림 3] RFCC공정 순서도

2) GS칼텍스(주) 제공자료 참조

가) 전환(Converter)공정

- 고비점 잔사유를 원료로 하여 유동 촉매(제올라이트)층으로 이루어진 반응기 내에서 고옥탄가의 휘발유 생산을 주목적으로 함
- 원료와 함께 투입된 촉매는 상부 사이클론(Cyclone)에서 분리된 후 반응기 하부로 이동하여 촉매 재생탑에서 촉매에 부착된 코크(Coke)를 뜨거운 공기를 이용해 완전히 연소시켜 촉매 활성화 후 반응기로 재공급함
- 촉매 재생시 발생한 연소가스(Flue Gas)는 폐열보일러(CO Boiler)에서 스팀 발생 후 발생한 스팀은 공정에서 열원으로 이용함



[그림 4] 전환(Converting) 공정 개략도

나) 분리(MF, Main Fractionator)공정

- 전환공정으로부터 분해된 유체는 증기(Vapor) 상태로 분리공정으로 이송된 후 응축시켜 메인 분리탑(MF)에서 1차 분리 후 탈기기(Stripper), 부탄분리탑(Debutanizer), 프로판분리탑(Depropanizer), 납사분리탑(Naptha splitter) 등을 거쳐 유효성분을 분리함

- 공정 유체에 포함되어 있는 황성분은 황회수공정(SRU, Sulfur Recovery Unit)에서 회수 처리함



[그림 5] 분리(MF) 공정 순서도

3) 사고관련 설비간 배관 구성검토

- (정상가동중) 공정에서 배출되는 오일성분이 포함된 폐수(그림 6의 ④번 흐름)의 경우 OWS Drum(C-325)에서 회수하여 폐수공정으로 이송하고,
- 폐수집수정(S-305)에 집수되는 폐수 또한 오일성분이 포함됐을 경우를 대비해 OWS Drum(C-325)으로 Line-up(그림 6의 ①번 흐름) 되어 있음
 - ※ 정상가동 중 밸브 개폐상태(MV-01 열림, MV-02 닫힘)
- (정비기간중) 정비를 위해 설비 및 배관내 잔류 오일성분을 재사용하기 위해 C/D Drum(C-324)으로 회수(그림 6의 ③번 흐름)하고,
- 정비기간중 Off site drain header내 오일성분 회수(그림 6의 ⑤번 흐름)를 위해 밸브 조작(MV-01, MV-02) 실시
 - ※ 정비기간 중 밸브 개폐상태(MV-01 닫힘, MV-02 열림)
- 사고 발생일은 RFCC공정의 정비시작일로서 MV-01은 닫힘, MV-02는 열린 상태였음



[그림 6] 사고관련 설비간 배관 구성

4) 누출경로 추정 및 확인

가) 누출경로 추정

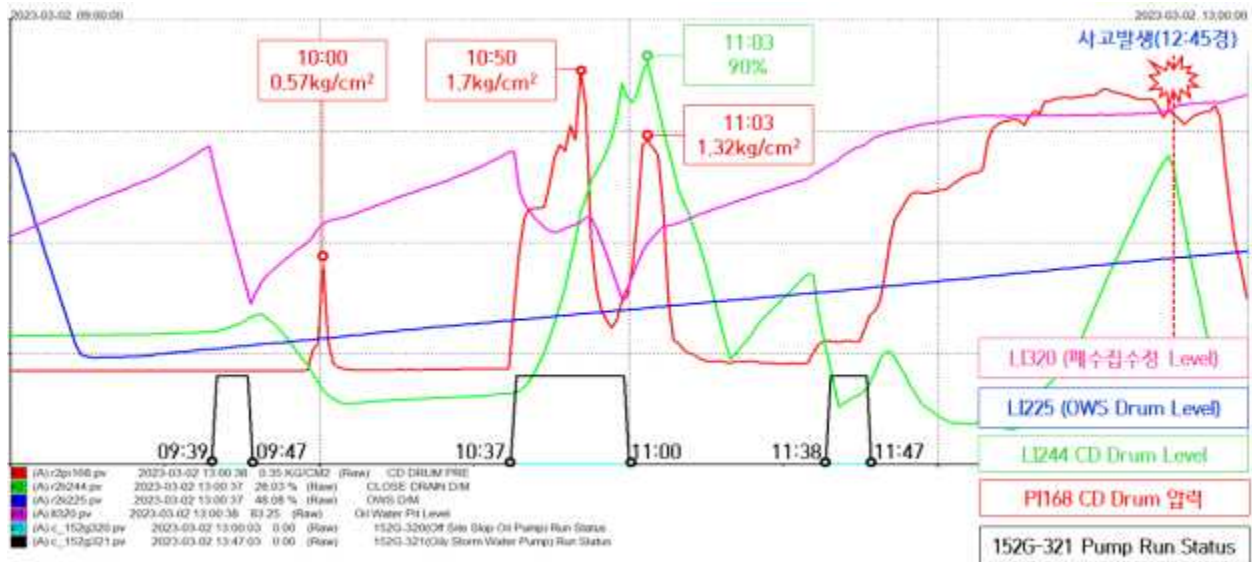
- 공정내 잔류 오일성분을 C/D(C-324)드럼으로 회수하는 과정(그림 6의 ③번 흐름)에서 C/D 드럼내 압력이 상승하여 드럼 내 황화수소 가스가 폐수집수정(S-305)으로 역류하여 밀폐되지 않은 폐수집수정의 개방된 덮개 부분을 통해 외부 누출된 것으로 추정됨
 - 사고당일은 RFCC공정 정비 첫날로 원료 투입 중단(09시경) 후 공정내 잔류 오일성분을 C/D드럼으로 회수하였음
 - 회수과정중 C/D 드럼내 압력이 상승하여 폐수집수정(S-305)과 C/D드럼(C-324)간 Line-Up배관을 통해 폐수집수정으로 역류 후 외부 누출 추정됨
- ※ 폐수집수정 이송펌프(G-320, G-321) 후단의 체크밸브(Check valve) 및 바이패스밸브(by-pass valve)를 통해 집수정으로 역류추정



[그림 7] 황화수소 누출경로 추정

나) C/D드럼(C-324), 폐수집수정(S-305), OWS드럼(C-325) 운전 상황 변동내역

- RFCC팀 공정운전 현황자료 검토결과 C/D드럼 압력상승 시점과 가스 감지기 누출경보 발생 시각이 거의 일치함
- 09시경 공정원료 투입 중단 후 공정내 잔류 오일을 C/D드럼으로 회수하면서 09:40경부터 C/D드럼 액위(LI244) 상승 시작함
- 09:40경부터 C/D드럼 내부 압력(PI168) 상승하기 시작하여 10시경 $0.57\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 상승후 하강함(ARF-250 경보발생 시각과 일치)
- 10:37경부터 C/D드럼 내부 압력이 다시 상승하기 시작하여, 10:50경에는 약 $1.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 상승하였으나, 가스누출감지경보기는 경보 미발생(동 시간대 펌프(G-321) 가동으로 역류가 불가능하였을 것으로 추정)
- 11:00경부터 C/D드럼 액위(LI244)와 압력(PI168)이 동반상승 후 11:03경 C/D드럼 내부 압력이 $1.32\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 상승함(10:58경부터 가스누출감지 경보기 경보 발생)



[그림 8] C/D드럼, OWS드럼, 폐수집수정 운전상황

다) 체크밸브 및 바이패스 밸브 누설여부 확인

- 폐수집수정 이송펌프(G-320 및 G-321) 후단(그림7의 붉은색 원안) 체크밸브 및 바이패스 밸브의 누설여부 확인결과 체크밸브 2기와 바이패스 1기에서 누설 확인됨
- 체크밸브는 역류를 방지하기 위해 설치하는 배관 구성품으로 펌프 후단으로부터 반대흐름(역류)을 차단하여야 하나 누설발생
- 누설여부 점검을 위해 체크밸브 취외전 방사선촬영(RT, Radiographic test)결과 디스크(disc)가 시트링(seat ring)에 걸려 완전히 닫히지 않아 역류를 방지할 수 없는 상태였고,



[사진 4] 체크밸브 내부 디스크 걸림 상태

- 분해 조립 후 디스크를 닫고 확인 시에도 누설이 발생하였음
- 2015년 이후 설치(추정) 이외에 유지보수 이력을 확인할 수 없음

[표 5] 체크밸브 및 바이패스 밸브 누설여부 확인결과

구 분		확인일	누설여부	확인시 입회자	비고
G-320	체크밸브	2023.3.10.	누설	(공단) (GS칼텍스) N,K	
	바이패스밸브	2023.3.13.	누설	(공단) (GS칼텍스) N	
G-321	체크밸브	2023.3.10	누설	(공단) (GS칼텍스) N,K	
	바이패스밸브	2023.3.13	-	(공단) (GS칼텍스) N	

5) 가스누출감지경보기 경보내역

- RFCC공정내 설치된 감지기(총 104기) 중 10기(인화성가스감지기 7기, 황화수소 감지기 3기)가 가스를 감지하여 경보를 발생하였음
- 폐수집수정(S-305) 주변에 설치된 인화성가스 감지기(ARF-250)는 10시경 최초 경보발생(LEL*35%)하였으며, 10:58분경부터는 최고 LEL100%를 지시함
 - * LEL(연소하한, Lower Explosive Limit)은 프로판(C_3H_8)의 연소하한(2.1%)에 대한 %임 (LEL100%는 프로판의 연소하한인 2.1%에 해당)
- 11시경 집수정으로부터 수평방향 약 24미터, 수직방향 약 17미터 가량 떨어진 지점에 설치된 황화수소 감지기 2기가(ARF-252, ARF-253) 약 1분 간격으로 30ppm을 지시하였음
- ARF-250, 252, 253, 248의 경우 13시경까지 지속적으로 검출한계를 오가며 경보를 발생하였음

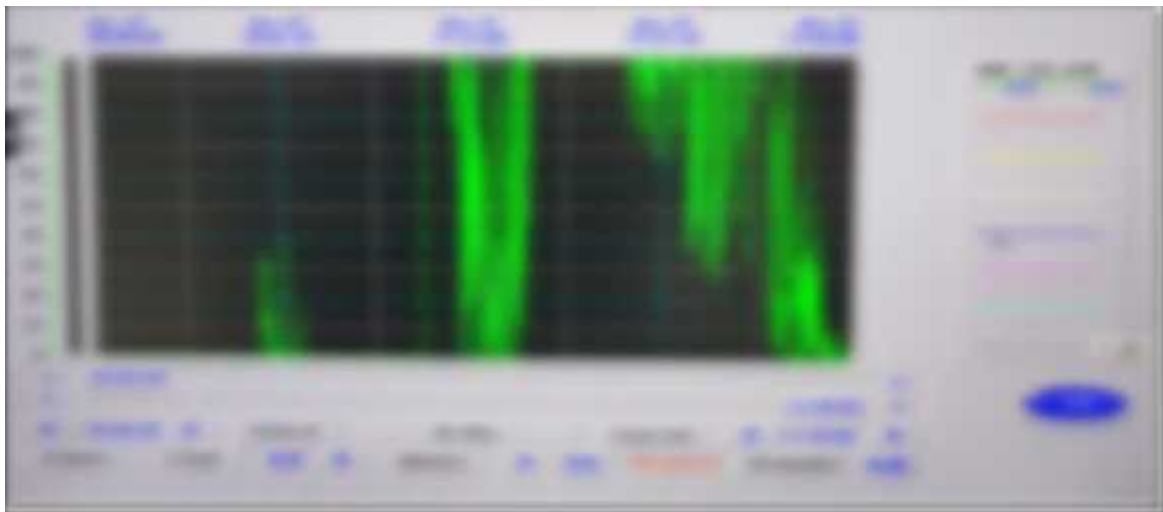
[표 6] 가스누출감지기 경보내역

Item No	측정 물질	경보내역1		경보내역2		단위	설치위치(Pit기준)		비고
		시각	측정값	시각	측정값		수평(m)	수직(m)	
ARF-250	인화성가스(프로판)	10:00	35	10:58	100	LEL%	-	-	
ARF-252	황화수소	10:59	30	-	-	ppm	24	17	
ARF-253	황화수소	11:00	30	11:02	30	ppm	31	17	
ARF-248	황화수소	11:02	27	-	-	ppm	54	7	
ARF-294	인화성가스(프로판)	11:00	8	11:50	8	LEL%	18	7	
ARF-242	인화성가스(프로판)	11:37	6	11:51	9	LEL%	18	7	
ARF-243	인화성가스(프로판)	11:50	5	-	-	LEL%	27	7	
ARF-244	인화성가스(프로판)	11:50	5	12:24	5	LEL%	33	7	
ARF-245	인화성가스(프로판)	12:24	10	-	-	LEL%	39	7	
ARF-267	인화성가스(프로판)	12:29	5	-	-	LEL%	42	7	

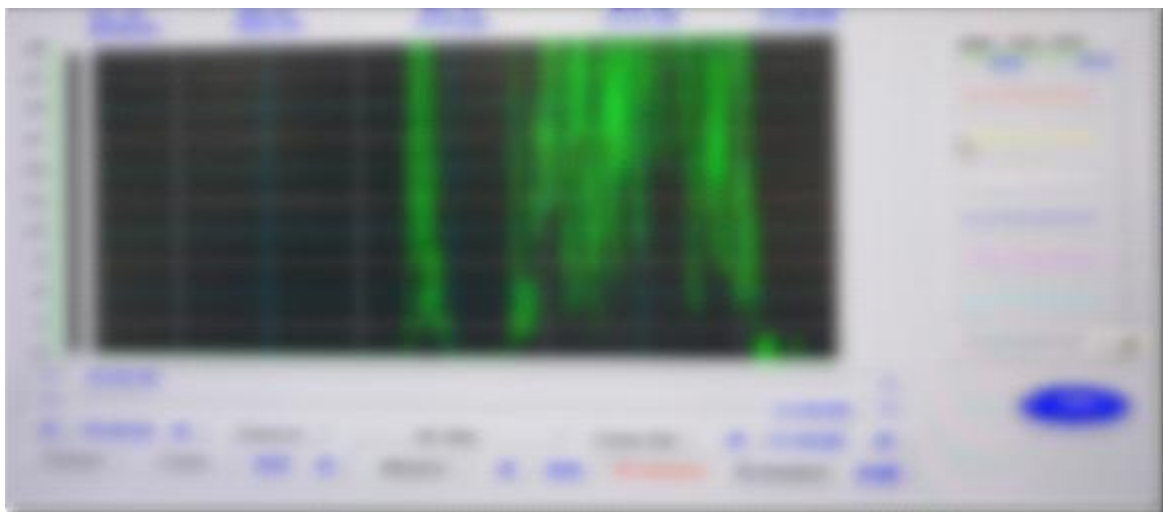
※ 기기측정(검출)한계 : (인화성가스감지기) LEL 100%, (황화수소감지기) 30ppm



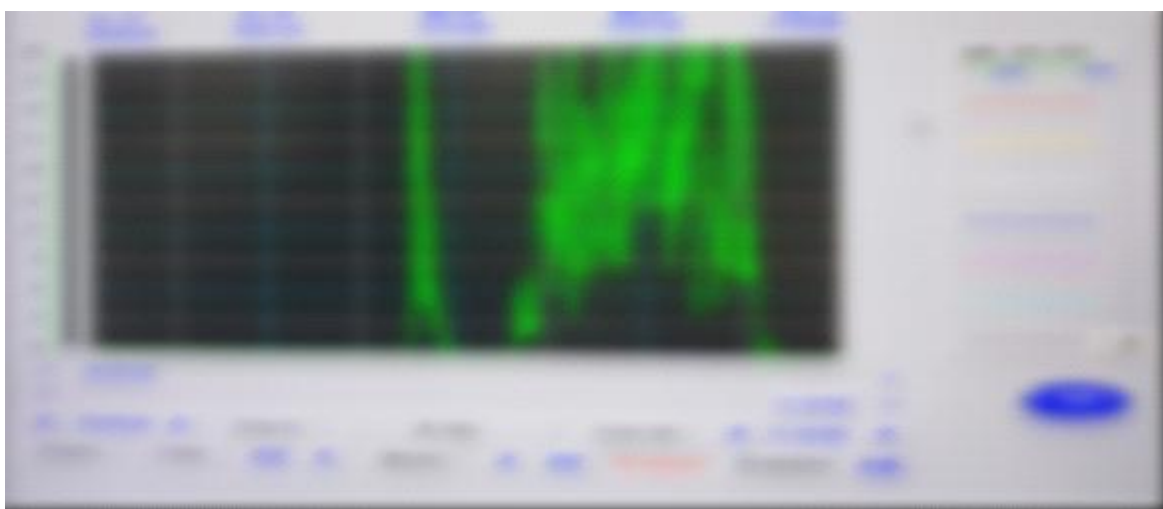
[그림 9] RFCC공정 내 감지기 중 경보발생 감지기 위치



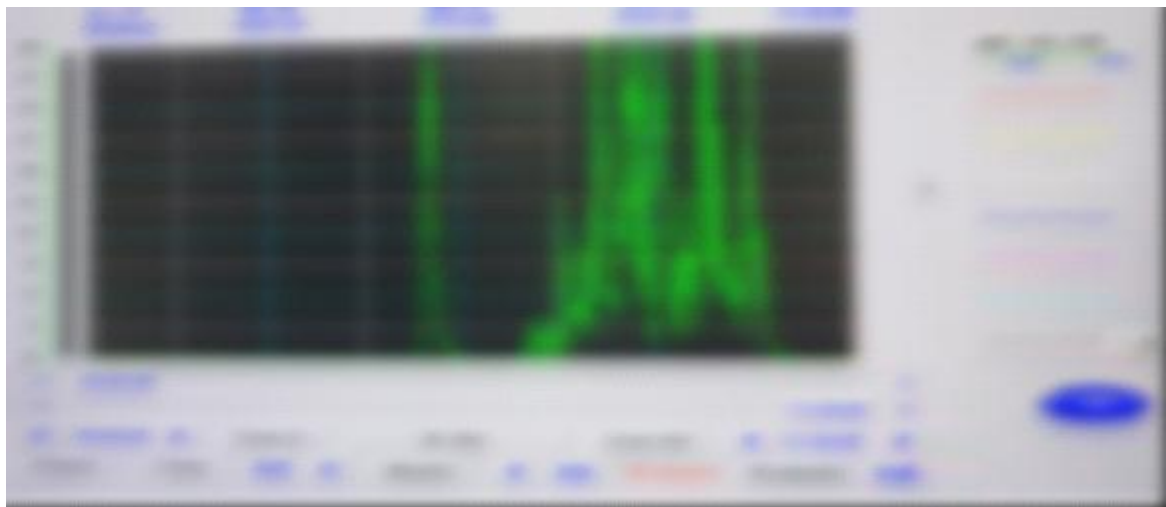
[그림 10] ARF-250 (인화성가스) 감지내역



[그림 11] ARF-252 (황화수소) 감지내역



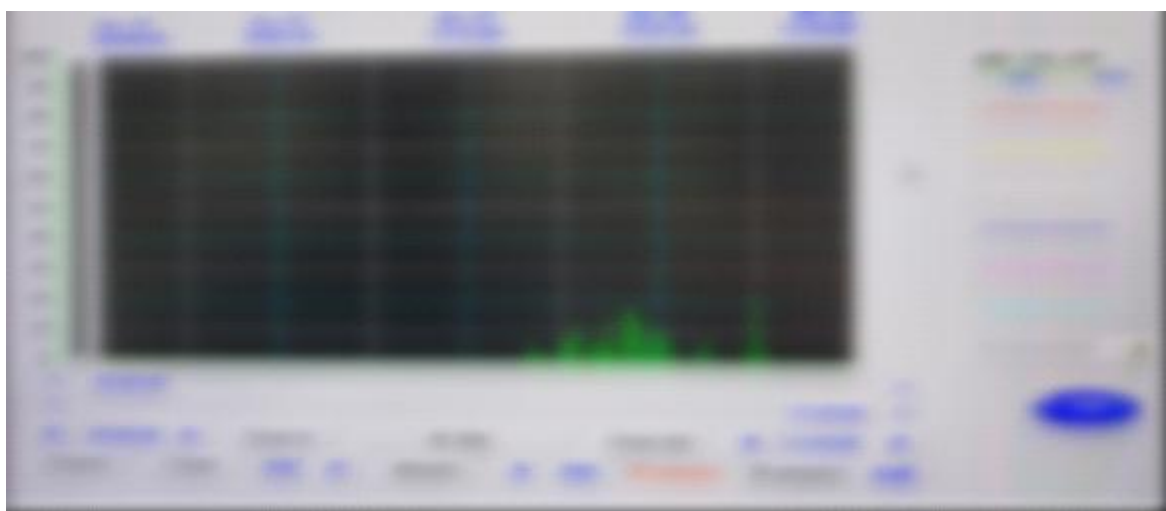
[그림 12] ARF-253 (황화수소) 감지내역



[그림 13] ARF-248 (황화수소) 감지내역



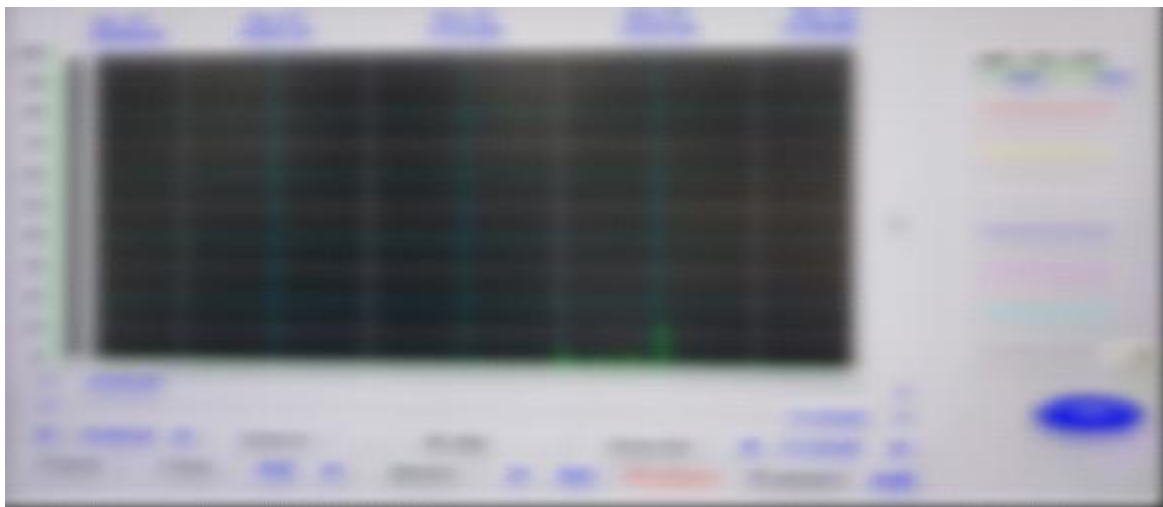
[그림 14] ARF-294 (인화성가스) 감지내역



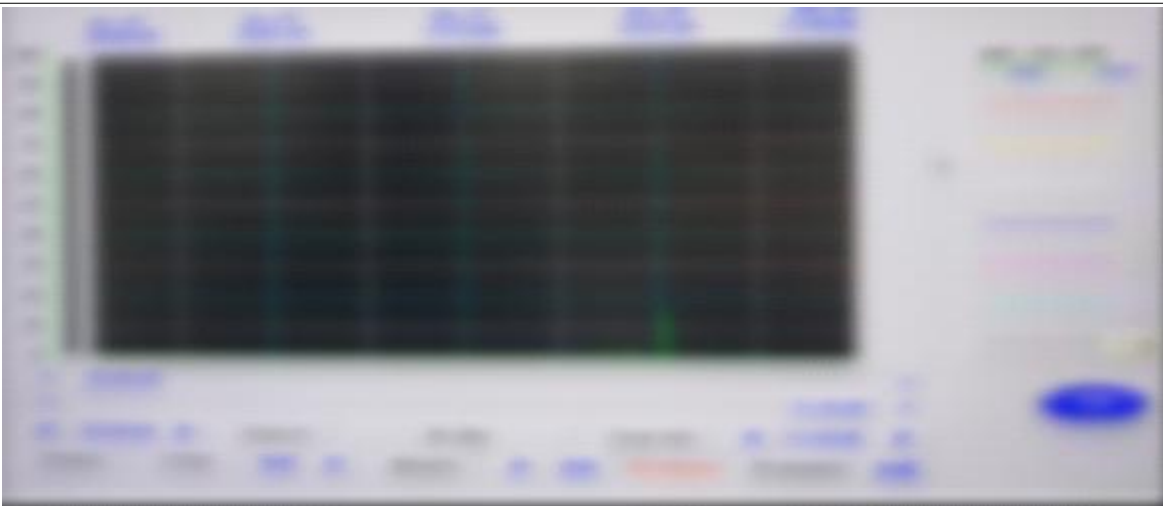
[그림 15] ARF-242 (인화성가스) 감지내역



[그림 16] ARF-243 (인화성가스) 감지내역



[그림 17] ARF-244 (인화성가스) 감지내역



[그림 18] ARF-245 (인화성가스) 감지내역



[그림 19] ARF-267 (인화성가스) 감지내역

- 사고 이후 폐수집수정(S-305) 주변에서 황화수소 농도 측정결과 100ppm이상 (“OVER”) 측정 됨(측정시각 03.02. 16:56)

	[측정기기 정보]	
	제 조 사	
	모 델 명	
	측정대상	측정범위(한계)
	가연성가스(CH ₄)	0~100 % LEL
	산소(O ₂)	0~25.0 %
	황화수소(H₂S)	0~100 ppm
	일산화탄소(CO)	0~500 ppm
	이산화탄소(CO ₂)	0~5 %
* “OVER” 표시는 측정한계 의미함		

[사진 5] 폐수집수정(S-305) 주변 황화수소 농도 측정

6) 비상전파 상황 및 보호구 착용여부 검토

- **(최초발생)** 인화성가스(탄화수소)감지기 최초 경보 발생(약 10시경) 후 RFCC 조종실에서 현장에 무전을 통해 경보발생 전파(특정인을 지정하지 않음) 및 확인요청 하였으며, 확인요청 약 10분 후 ‘이상없음’ 통보 받음
- **(이후발생)** 11시경 황화수소 누출감지경보기(ARF-252, 253) 경보가 발생하여 조종실에서 무전을 통해 경보발생 전파(I) 및 확인요청(특정인을 지정하지 않음) 하였으나 이상유무 회신 없음

- 사고원인 조사시 RFCC공정 근무자 중 면담자(H, G)는 황화수소 누출에 대한 확인요청을 받은 기억이 없다고 이야기함
- 재해자들은 폐수집수정(S-305)으로 접근하는 과정에서 **호흡용보호구(가스마스크)**를 착용하지 않았다고 함(H, G)

	[면체] 형 태 : 반면형(필터교환식) [정화필터] 용 도 : 유기화합물, 할로젠, 황화수소, 아황산용
[사진 5] RFCC공정 근로자 지급용 가스마스크	

- 호흡용보호구를 소지하고 있었고, RFCC팀 자체비상조치훈련 등을 통해 황화수소의 위험성을 인지하고 있었을 것으로 판단됨에도 보호구를 착용하지 않은 것으로 미루어 보아 **황화수소 감지기 경보 발생에 대한 전파가 제대로 이루어지지 않았을 것으로 추정됨**
- 공정 Shut down과정에는 공정상황이 정상운전 조건과 맞지 않으므로, 평소 정상운전 조건에 맞춰 설정돼 있던 공정알람(Alarm)이 다수 경보를 발생하여 조종실 근무자(운전주임)가 Shut down 관련 공정 모니터링 및 조치로 인해 황화수소 감지기 경보 발생에 따른 현장 확인조치 여부를 지속적으로 추적하기 어려웠을 것으로 추정됨

7) 황화수소 누출에 따른 감지설비 및 저장·포집, 처리설비 설치여부

- 황화수소 누출지점인 폐수집수정(S-305) 주변에는 급성독성물질인 황화수소 누출감지 경보설비가 설치되어 있지 않아 초기 누출시 황화수소 누출을 인지하기 어려웠을 것으로 판단됨

- 폐수집수정(S-305)은 삼면이 콘크리트 벽(높이 약 6.7미터)으로 둘러 쌓여있고 다른 지역에 비해 낮은 지점에 위치하고 있어 황화수소 누출시 체류하기 쉬운 장소로 판단되나, 인화성가스 감지설비 외 황화수소 누출에 따른 감지경보설비는 설치되어 있지 않음
- 누출지점 주변에 인화성가스 감지설비가 설치되어 있었으나 1차 경보설정 값이 1050ppm³)으로 황화수소의 독성 값(TWA:10ppm) 대비 100배 이상 높고, 감지 대상 물질이 달라 유효하지 않을 것으로 판단됨
- 또한, 급성독성물질인 황화수소가 외부로 방출될 경우 누출위험을 방지하기 위한 저장·포집 또는 처리설비 등은 설치되어 있지 않았으며 개방된 덮개를 통해 외부로 누출 가능한 구조임

8) RFCC공정 위험성평가 내용 검토

- RFCC팀 위험성평가 자료 확인결과 C/D Drum(C-324)으로부터 폐수집수정(S-305)로의 황화수소 역류에 의한 외부 누출 위험성에 대한 내용은 포함되어 있지 않음
- RFCC팀은 2018년 HAZOP(위험과안전분석)기법, 2022년 K-PSR(공정안전성분석)기법을 활용해 공정운전중 발생할 수 있는 위험성에 대한 위험성평가를 실시하였으며,
- HAZOP과 K-PSR자료에는 폐수집수정을 통한 황화수소 누출 위험성은 포함되어 있지 않았으며,
- Drain작업 위험성평가의 경우 작업시 가스중독 위험성에 대한 내용이 일부 포함되어 있고, Vent작업 위험성평가에는 황화수소 누출에 의한 중독 위험성이 언급되어 있으나 폐수집수정(S-305)을 통한 누출 가능성은 언급되어 있지 않음

3) 인화성가스(프로판) LEL(2.1%)의 5% 도달시 1차경보 발생하며, ppm환산시 $2.1\% \times 5\% = 1050\text{ppm}$

※ 추정결론

- RFCC공정 Shut down과정 중 공정유체 내에 포함된 황화수소가 C/D Drum을 통해 폐수집수정으로 역류후 대기 방출되었으나,
- 포집, 제거할 수 있는 설비가 설치되어 있지 않고,
- 폐수집수정 주변에 황화수소 누출감지 경보기가 설치되어 있지 않아 누출상황에 대한 전파가 제대로 이루어지지 않은 상태에서
- RFCC공정 근로자 2명이 호흡용보호구(가스마스크)를 착용하지 않은 채로 폐수집수정 (S-305) 확인을 위해 접근 중 폐수집수정을 통해 누출된 황화수소 흡입

5. 조사자 의견

가. 재해발생 추정원인

○ 황화수소 누출에 따른 감지경보 설비 미설치

- 폐수집수정(S-305)을 통해 급성독성물질인 황화수소 누출로 인한 위험을 방지하기 위한 감지·경보 설비가 설치되어 있지 않음
- 인화성가스 감지경보설비가 설치되어 있었으나, 해당 설비는 인화성가스 (프로판) 누출 감지·경보 목적임

○ 황화수소 누출에 따른 회수설비 미설치

- 급성독성물질인 황화수소가 누출되었으나 저장·포집 또는 처리설비가 설치되어 있지 않아 외부로 방출되어 점검을 위해 접근하던 근로자가 흡입

○ 황화수소 누출방지조치 미흡

- 덮개로 완전히 밀폐되지 않는 구조의 폐수집수정(S-305)으로 황화수소가 포함된 공정유체가 역류되어 대기 방출됨

○ 비상사태 대응 절차 미준수

- RFCC 공정내 인화성가스 감지 및 황화수소 감지기가 장시간 경보를 발생했음에도 불구하고 해당 구역 근로자에게 내용이 제대로 전파되지 않아 사업장 비상사태 대응이 이루어지지 않음
- 폐수집수정(S-305) 주변에 설치된 인화성가스 감지경보설비(ARF-250)가 경보를 발생하였고,
- 폐수집수정과 떨어져 있었으나 동일한 RFCC공정내에 설치된 황화수소 감지경보설비(ARF-252,253등)가 경보를 발생했음에도 불구하고 공정내 근로자에게 전파가 제대로 이루어지지 않음
- 또한 이로 인해 호흡용보호구(가스마스크)를 소지하고 있었음에도 착용하지 않음

○ 위험성평가 미흡

- 공정위험성평가(HAZOP, K-PSR) 및 작업위험성평가(Vent작업, Drain작업) 시 폐수집수정(S-305)을 통한 황화수소 역류가능성은 검토되지 않음

나. 재발방지 대책

○ 황화수소 누출시 감지·경보설비 설치

- 황화수소가 누출되기 쉬운 장소인 폐수집수정(S-305) 주변에 황화수소 누출 감지·경보설비를 설치하여 누출시 즉시 경보를 발생하도록 하여야 함

○ 황화수소 누출에 따른 처리설비 설치

- 설비 이상운전으로 황화수소가 누출되는 경우에도 외부로 방출되지 않도록 포집·회수 또는 처리 설비를 설치하여야 함

○ 황화수소 누출방지조치 실시

- 황화수소가 폐수집수정(S-305)으로 역류하여 외부로 방출되지 않도록 폐수집수정을 개스킷 등을 사용하여 밀봉조치 하거나,
- 황화수소가 포함된 공정유체가 근본적으로 폐수집수정으로 유입되지 않도록 폐수집수정으로 연결된 공정유체 배관을 제거하는 등의 설계변경 필요함

○ 비상사태 대응 절차 준수

- 공정내 가스누출 감지 경보시 사업장내 비상사태 대응 절차에 따라 비상조치가 이루어 질 수 있도록 절차 준수 및 교육 필요함
- 정상운전 기간뿐만 아니라 공정 Shut down기간에도 비상조치 절차(특히 전파 및 확인)가 준수 될 수 있도록 감지·경보 설비 담당 인원 배치 등 조치 필요함

○ 위험성평가 보완

- 공정위험성평가 및 작업위험성평가 시 폐수집수정을 통한 황화수소 역류 위험성을 포함하고 그 내용에 대해 근로자 교육 실시 바람