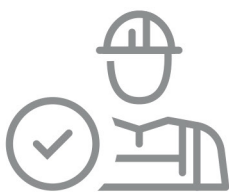


화학사고 사례연구 『열교환기 채널커버 인화성가스 누출·화재사고』



목차 contents

용어설명	2
01. 사고개요	3
02. 사업장 현황	4
03. 사고분석	8
04. 사고발생 원인	16
05. 동종사고 예방대책	17
06. 사고로부터 얻은 교훈	18
07. 유사 사고사례	20
08. 참고자료	21



용어설명

02

NCC(Naphtha Cracking Center) 공장

나프타를 섭씨 800 °C 이상의 고온에서 열분해하여 석유화학기초원료인 에틸렌, 프로필렌, C₄유분, 열분해 가솔린(PG) 등을 생산하는 시설들이 있는 곳을 나프타 분해시설 또는 나프타 분해공장이라 말한다.

OCU(Olefin Conversion Unit) 공정

NCC 공정의 부산물인 Mixed C₄와 에틸렌을 반응시켜 프로필렌으로 전환시키는 공정이다.

채널커버(Channel Cover)

채널이란 열교환기의 Tube Side를 흐르는 유체의 유입·방출을 가능하게 하는 공간이며, 채널 커버란 채널을 외부로부터 밀폐시키는 덮개를 말한다.

핫 볼팅(Hot Bolting)

원료를 투입하고 승온하는 과정에서 열팽창에 의해 볼트 체결부가 헐거워짐에 따라 설비 내부의 원료가 플랜지 부위 등 접속부를 통해 누설되는 것을 방지하기 위한 재 조임작업을 말한다.

01. 사고개요

2018년 12월 전라남도 ○○○사업장에 설치된 열교환기 채널커버(Channel Cover)에서 Mixed C₄ 및 프로필렌이 누출되면서 점화되어 열교환기 보온작업 중이던 협력업체 작업자가 얼굴에 화상을 입은 사고이다.



[사진 1] 화재가 발생한 열교환기의 위치와 발화지점

1 인명피해

- 부상 1명 (안면 1~2도 화상)

2 물적피해

- 배관설비 및 보온 손상

03

용어 설명 / 사고개요

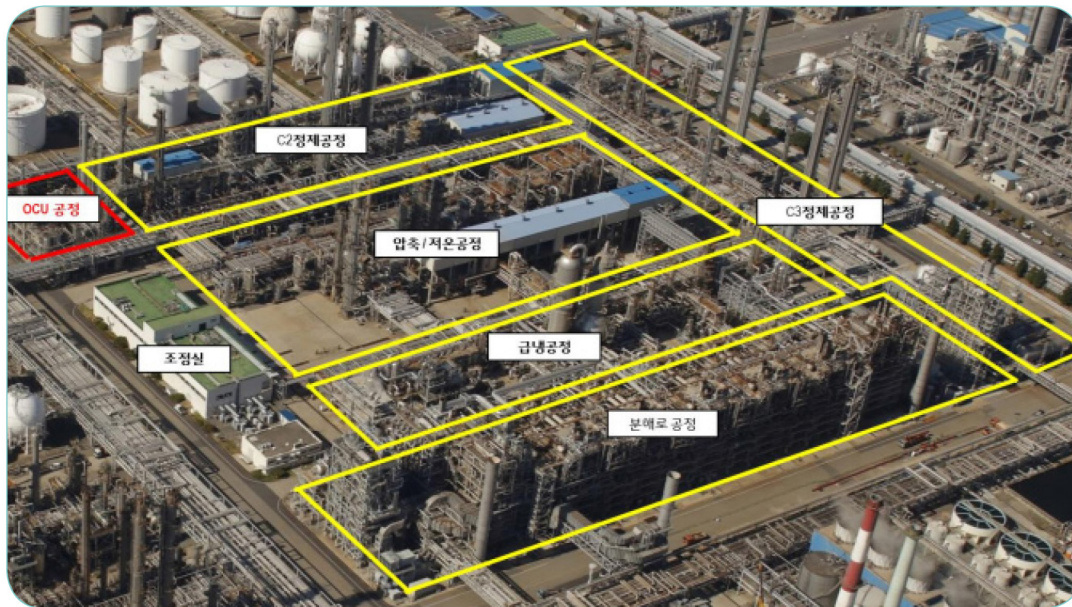


04

02. 사업장 현황

○○○사업장은 1976년 폴리염화비닐(PVC)공장으로 현재, 에틸렌, 프로필렌, BD, EP, PP 등을 생산하고 있다.

1 시설현황 (NCC공장)



[사진 2] NCC공장 배치도

2 사고 발생 물질

OCU공정 혼합물

물질명	함량(mol%)	인화범위(%)	인화점(°C)	발화점(°C)	점화에너지(mJ)
에틸렌	23.9	2.7~36	-136	490	0.124
프로필렌	43.5	2.4~10.3	-108	460	0.28
Mixed C ₄	31.6	1.6~10	-110	385	자료없음
		1.8~8.4	-60	365	자료없음
		1.8~9.7	-73	324	자료없음
2-펜텐/3-헥센	1.0	자료없음	-	280~470	자료없음

경고표지
그림문자



인화성 가스



고압 가스



경고

- 극인화성 가스
- 고압가스 포함 ; 가열하면 폭발할 수 있음
- 피부·눈·호흡기계 자극성 경고

05

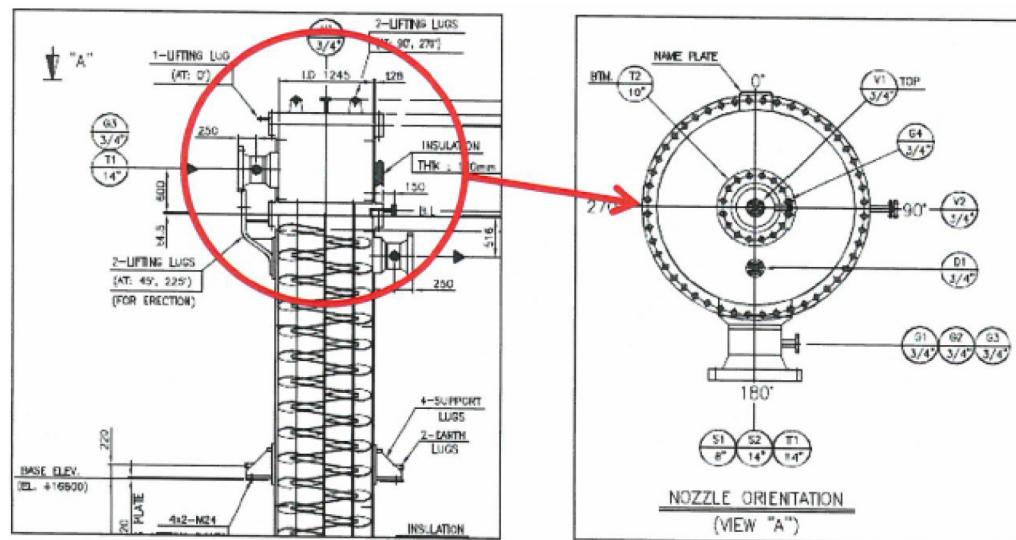
사업장 현황



3 사고 발생 설비

열교환기

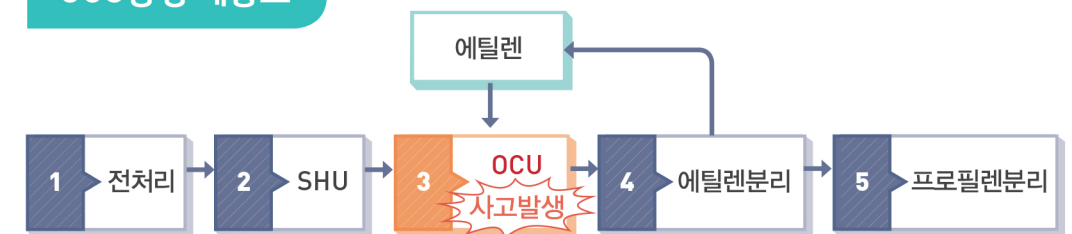
설비용량 (ID×Height) mm	물질	압력 (kg/cm ²)		온도 (°C)		재질	비고
		운전	설계	운전	설계		
1390 × 18,833.5	HC	31.2	35.5	35.9/ 312.9	400	A516-60N	동체측
	HC	28.0	35.5	309.6/ 63.6	400	A516-60N (탄소강)	튜브측 (누출/화재발생)



[그림 1] 사고발생 열교환기의 상부 체결부 도면(Stud Bolt 48개)

4 공정

OCU공정 계통도



[그림 2] 사고발생 OCU 공정 계통도

OCU 공정 설명

주요 공정	주요 내용
전처리 공정	원료인 Raffinate- II 에 포함되어 있는 촉매독 성분인 TBA, DME를 제거하는 공정임.
SHU 공정	선택적 수소화 공정(Selective Hydrogenation Unit)원료인 Raffinate- II 에 포함되어 있는 1,3-부타디엔(1,3-Butadiene)을 1-부텐(1-Butene)으로 전환시키고, 최종적으로 OCU공정의 원료인 2-부텐(2-Butene)으로 이성질체화시킴.
OCU 공정	올레핀 전환공정(Olefins Conversion Unit)SHU공정으로부터 이송된 Raffinate- II 성분 중 2-부텐과 에틸렌(C ₂ H ₄)을 반응시켜 프로필렌을 생산함.
에틸렌 분리공정	OCU 공정에서 원료로 사용하고 남은 에틸렌을 분리하기 위해 OCU로 순환시키는 공정.
프로필렌 분리공정	OCU공정 반응물(Effluent)중 에틸렌을 분리한 후 프로필렌 분리탑에서 최종 목표 제품인 프로필렌을 분리해 내는 공정.



03. 사고분석

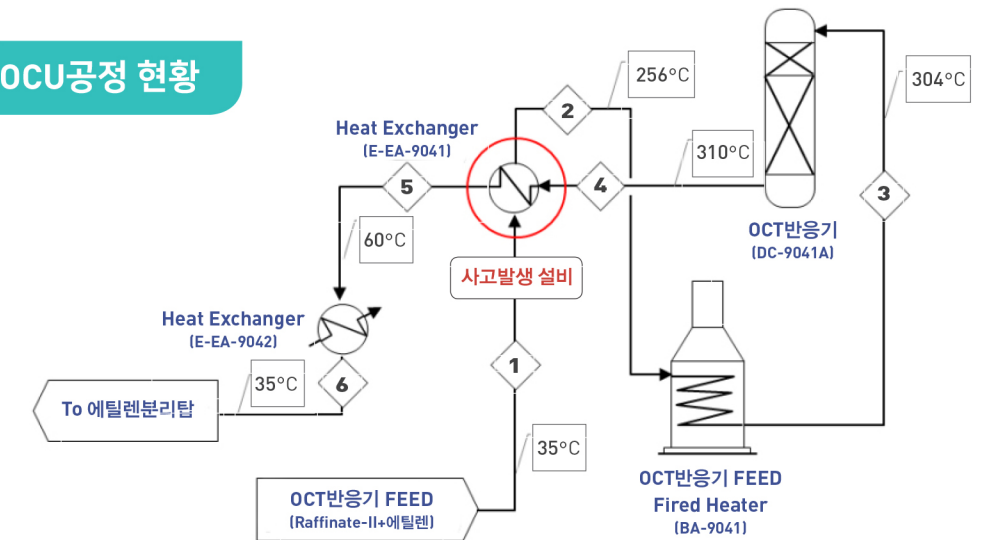
1 사고 발생 과정

작업 상황

일 시	작업 현황
11월 ○○일 ~ △△일	OCU 공정의 해당 열교환기 세정작업 실시(열교환기 채널커버 개방)
11월 □□일	열교환기 채널커버 닫음 조치 후 볼트체결 및 조임 실시
12월 ○○일	열교환기 정상 운전 시작
12월 ◇◇일 9:15	열교환기 채널커버 부위 보온작업 실시
13:45	열교환기 보온작업 중 채널커버 부위에서 화재 발생
13:50	소방서 신고 및 환자 이송실시
13:56	화재 자체 진화 완료

2 사고 원인 분석

OCU공정 현황



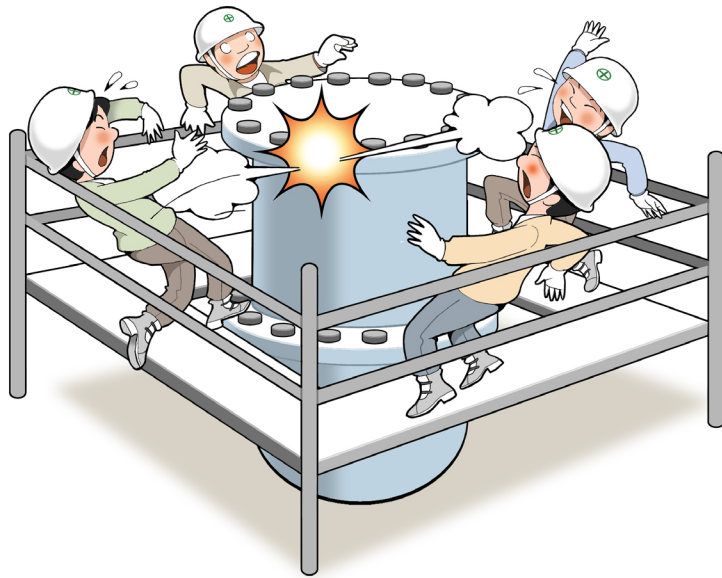
[그림 3] OCU 공정개략도

- SHU 공정으로부터 이송되어온 Raffinate- II 와 에틸렌을 혼합하여 1번 스팀(Steam)의 열교환기(사고발생설비)를 거쳐 승온(35→256 °C, 2번 Stream)후 Feed Fired Heater에서 2차 승온(256→304 °C, 3번 Stream)후 OCT(Olefin Conversion Technology) 반응기에 투입한 후 반응기내에 충전된 촉매에 의해 반응이 완료됨.
- OCT반응기의 반응물질(Effluent, 4번 Stream)은 열교환기(E-EA-9041)에서 냉각(310→60 °C, 5번 Stream) 된 후 2차 냉각을 위해 열교환기(E-EA-9042)를 통과(6번 Stream)한 후 반응물 중 에틸렌을 분리하기 위해 에틸렌 분리공정으로 이송시킴.
- 금번 사고는 반응기(DC-9041A) 후단 배출물(4번 Stream)이 반응기로 투입되는 원료(1번 Stream)와 열교환하는 열교환기(E-EA-9041)의 채널커버 부위(4번 Stream)에서 누출이 발생함.



사고발생 열교환기 작업내용

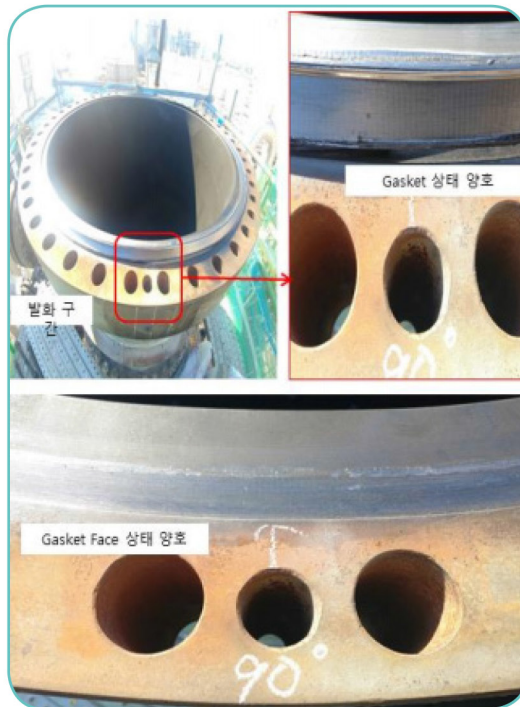
- 사고 발생 열교환기는 정기 정비를 위해 OCU공정이 가동중지(10월◇◇일) 후 채널커버를 개방하여 튜브(4번 Stream측) 세정(11.00~12.00)을 실시함.
- 튜브 세정 완료 후 채널커버를 닫고 고정 볼트 조임 작업을 실시함.
- 12월 00일 열교환기 정상운전을 시작함.
- 열교환기 정상가동 후 설비의 단열을 위해 12월 ◇◇일 09시부터 열교환기 채널부에 대한 보온작업을 실시함.
- 해당 열교환기 채널부에 대한 보온작업은 총 4명의 작업자가 실시하였으며, 사고 발생 시에는 보온재 설치 후 아연도금강판(합석) 부착하기 위해 준비 중이었으며, 재해자를 포함한 작업자들이 열교환기 채널부에 직접 접촉하지 않고 주변에서 아연도금강판(합석)을 준비 중이었다고 함.



[그림 4] 열교환기 보온작업 상황도

인화성가스 누출에 따른 연소분위기 형성과정 추정

- 고온 운전설비의 경우 원료 등을 투입하지 않은 상태에서 볼트 조임작업(Cold bolting)을 실시하고, 기밀테스트 등으로 누설여부를 확인함.
- 원료를 투입하고 승온하는 과정에서 열팽창에 의해 볼트 체결부가 헐거워짐에 따라 설비 내부의 원료가 플랜지 부위 등 접속부를 통해 누설되는 것을 방지하기 위해 재 조임작업(이하 '핫볼팅')을 실시함.
- 사고 발생 열교환기는 세정작업 완료 후 11월 10일 채널커버 닫음 조치 후 핫볼팅을 실시하였음. (작업결과에 대한 자료는 보유하고 있지 않음)
- 사업장에서는 사고 발생 열교환기에 원료 투입 후 승온과정에서 핫볼팅(Hot Bolting)을 실시하였다고 하나 실시완료 및 관련 기록이 없었음.
- 화재 진압 후 누설부위에 대해 재조임(Re-tightening) 작업중 사업장에서 보유한 VOC측정기로 누설 부위에 대한 탄화수소 측정결과, 약 289 ppm이 측정됨.
- 측정값은 화재 진압 후 곧바로 측정한 값이 아니라, 누설 발생 열교환기 채널커버 볼트를 전체적으로 1~2회 가랑 조임(rebolting) 후 측정한 값을 고려해 볼 때 화재 발생 당시의 누출량은 사업장의 측정값 보다 더 많았을 것으로 추정됨.
- 열교환기 채널과 채널커버 사이의 접속을 위한 개스킷의 상태가 불량하여 열교환기 내부 인화성 가스가 누출되었을 가능성도 있으나, 확인결과 개스킷(Spiral Wound) 상태는 양호한 것으로 판단됨(사진3. 참조).
- 보온작업 실시 전에는 열교환기 채널과 채널커버 사이를 통해 누출된 인화성가스가 공기와 희석되어 연소범위를 형성하지 못하다가, 보온작업으로 인해 채널커버 부위를 보온재로 감싸면서 누출된 인화성가스가 공기중으로 희석되지 못하고 보온재 내부에 체류하면서 연소범위를 형성하였을 것으로 추정됨.
- 재해자를 포함한 열교환기 보온작업 근로자들은 열교환기에 보온재 시공을 할 당시에 열교환기 채널커버 부분에서 열교환기 내부의 인화성 가스가 누출되는 것을 인지하지 못하였다고 함.



[사진 3]

열교환기 채널커버와 플랜지 접속용
개스킷 상태

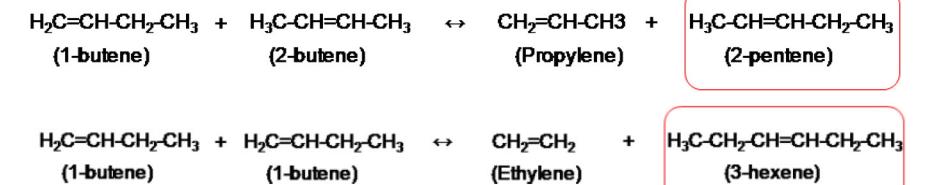
사업장의 핫 볼팅(Hot Bolting) 절차 검토

- 운전온도 200 °C 이상인 경우에 플랜지 등 접속부에 대해 볼트조임작업(핫 볼팅) 실시 후 인화성가스 누설여부 확인 및 기록을 하도록 하고 있으며,
- 사고 발생 열교환기와 같이 운전온도가 300 °C 이상인 경우에는 핫 볼팅을 실시하고 인화성 가스 누설여부를 확인 및 기록하도록 하고 있음.
- 하지만, 사고 발생 후 조사과정에서 확인 결과 사고발생 열교환기뿐만 아니라 다른 설비에 대한 핫 볼팅 실시 기록도 없었으며,
- 핫 볼팅 실시 대상이 되는 설비의 목록을 관리하고 있지 않은 것으로 보아 해당 설비에 대한 핫 볼팅이 제대로 이루어지지 않은 것으로 판단됨.

점화원 추정

- 자연발화점(AIT, Auto ignition temperature)이 낮은 부반응 생성물에 의한 자연발화 가능성이 있음.

- 1 OCT 반응기의 주요 반응은 2-부텐과 에틸렌의 반응에 의해 프로필렌이 생성되는 것이나, 부반응(Side Reaction) 가능성을 검토한 결과 다음과 같은 주요 부반응이 있음.



[그림 5] 주요 부반응 생성물 검토결과 사업장 자료

일자 구분	C1 mol l%	C2 mol l%	C2-m ol%	C3 mol ppm	C3-m ol%	CY-C3 mol/ppm	PD mol ppm Max 1	i-C4 m ol%	n-C4 m ol%	IB-2 m ol%	1-C4-m ol%	i-C4-m ol%	CB-2 m ol%	1,3-BD mol ppm	1,2-BD mol ppm	VA mol ppm Max 1	EA mol ppm Max 1	C5'S m ol%
2019-01-07 15:00	0.97	0.76	26.92	47	35.89	TRC	TRC	6.71	18.86	4.06	1.97	0.17	2.66	124	TRC	TRC	TRC	1.01
2018-12-28 17:00	0.83	0.84	29.25	48	29.5	2	TRC	6.45	27.16	2.54	1.1	0.18	1.6	147	TRC	TRC	TRC	0.53
2018-12-24 15:00	0.49	0.95	21.06	68	39.73	TRC	TRC	6.47	19.87	4.85	2.1	0.19	3.13	153	TRC	TRC	TRC	1.12
2018-12-21 15:00	0.78	1.19	24.71	96	39.94	1	TRC	5.28	16.12	5.12	2.13	0.17	3.33	160	TRC	TRC	TRC	1.2
2018-12-19 15:00	0.96	1.06	26.37	88	37	2	TRC	6.12	18.16	4.35	1.77	0.16	2.83	168	TRC	TRC	TRC	1.19
2018-12-17 15:00	0.99	0.76	28.37	55	34.49	3	TRC	6.91	19.71	3.66	1.44	0.18	2.38	117	TRC	TRC	TRC	1.09
2018-12-14 15:00	1.05	0.61	31.48	22	29.11	3	TRC	9.29	19.9	3.12	2.25	0.18	2.02	74	TRC	TRC	TRC	0.99
2018-12-12 15:00	0.9	0.55	29.38	21	30.54	2	TRC	7.98	20.45	3.62	2.56	0.21	2.4	88	TRC	TRC	TRC	1.39
2018-12-10 15:00	0.69	0.46	27.84	25	30.38	4	TRC	7.6	22.71	3.85	2.54	0.21	2.5	97	TRC	TRC	TRC	1.21
2018-12-07 15:00	1.02	0.31	31.33	36	29.3	3	TRC	8.35	20.78	3.43	1.98	0.19	2.26	129	TRC	TRC	TRC	1.03
2018-12-05 11:00	0.29	0.09	26.56	109	36.5	5	TRC	8.03	20.33	3.43	1.49	0.16	2.22	150	TRC	TRC	TRC	0.87
2018-10-22 15:00	0.13	0.53	29.83	30	35.29	1	TRC	7.61	16.7	3.49	2.7	0.21	2.36	145	TRC	TRC	TRC	1.13
2018-10-19 15:00	0.15	0.51	29.27	32	35.07	2	TRC	7.95	16.63	3.8	2.56	0.22	2.56	151	TRC	TRC	TRC	1.25

[표 1] 사업장 자체 분석결과(C-5함량)



- ② ○○○사업장에서 제공한 C-5류의 물질안전보건자료(MSDS) 확인결과 해당물질에 대한 자연발화점은 280 °C ~ 470 °C임.

9. 물리화학적 특성	
가. 외관	액체
- 색상	무색
나. 냄새	자취없음
다. 냄새역치	자취없음
라. pH	자취없음
마. 녹는점/어는점	< -60 °C
바. 초기 끓는점과 끓는점 범위	30 °C ~ 40 °C
사. 인화점	< -51 °C
아. 증발 속도	자취없음
자. 인화성 (고체, 기체)	자취없음
차. 인화 또는 폭발 범위의 상한/하한	7.6% / 1.4%
카. 증기압	4~240 kPa (37.8 °C)
타. 용해도	자취없음
파. 증기밀도	자취없음
하. 비중	0.62~0.88 (15 °C)
기. N-옥탄올/물 분배계수	> 1 (매우 작음)
니. 자연발화온도	280~470 °C
리. 분해온도	자취없음
리. 점도	< 1 cSt (40 °C)
미. 분자량	자취없음

[표 2] C-5 자연발화점

- ③ 보통 분자 내 2중 결합이 포함된 C-5 이상의 알켄(Alkene)류는 자연발화점이 280 °C 미만임을 알 수 있음.

Autoignition temperature of different hydrocarbons, C1-C12, °C												
C#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N-alkane	595	515	470	365	260	230	220	205	205	200	195	200
1-alkene		440	485	360	280	255	250	240		230		225
Alkylcyclohexane*							260		248			
Cycloalkane**			495		320	260	315		250			
Cycloalkene**				309	265							
3-methylalkane						300	280	410				
2-methylalkane				460	420	300	280					
2-methylalkene				465		300						
2,2-dimethylalkane					450	435	320					
Alkylbenzene*						555	535		450	410		
1-alkylnaphthalene										540	485	

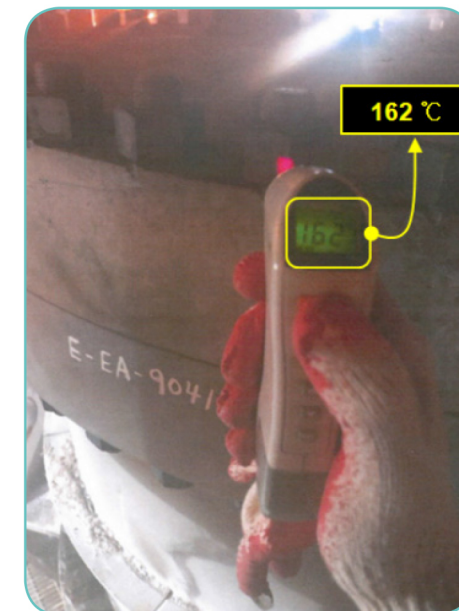
* C#(N-alkyl)=0-6

** rings without substituents

The Engineering ToolBox
www.EngineeringToolBox.com

[표 3] 탄화수소류의 자연발화점, 출처: engineeringtoolbox.com

- ④ 화재 사고 발생 열교환기(E-EA-9041)는 보온재가 설치되지 않은 상태에서 표면온도가 약 162 °C(사업장 자체 측정결과)로 부반응에 의해 생성된 2-펜텐, 3-헥센이 누출되었더라도 자연발화점에 미치지 못해 발화하지 않고 공기 중으로 희석되다가,



[사진4]

보온재 시공 전
플랜지 부위 표면온도

- ⑤ 열교환기에 보온재를 설치하여 단열을 유지함으로써 열교환기 표면온도가 내부 운전 온도(309.6 °C)에 근접하면서 누출물질이 접촉하여 발화한 것으로 추정됨.

- 재해자를 포함한 작업자들부터 인체 대전에 의한 정전기가 점화원으로 작용할 수 있으나 화재 발생 당시에는 해당 열교환기와 직접적인 접촉이 없었고 주변에서 보온재 커버(아연도금강판)를 준비 중이었으므로 인체 대전에 의한 점화 가능성은 낮다고 판단됨.
- 열교환기 채널커버를 통해 열교환기 내부 인화성 가스가 분출되면서 대전되는 분출대전을 고려해 볼 수 있으나 보온재 시공 전부터 인화성 가스가 누출되고 있었으나 발화가 되지 않은 점을 볼 때 그 가능성은 낮다고 판단됨.



04. 사고발생 원인

1 플랜지 등 접속부 관리 미흡

- 플랜지 등의 접합부는 개스킷을 사용하여 누출이 발생하지 않도록 관리하여야 하나, 열교환기 채널커버 고정용 볼트의 조임이 제대로 이루어지지 않아 설비 내부의 인화성 가스가 누출되어 화재가 발생하였음.

2 핫 볼팅(Hot Bolting) 절차 미준수

- 200 °C 이상에서 운전되는 설비에 대해 핫 볼팅(Hot Bolting)을 실시하고 접속부에 대해 누출 여부를 확인하고 기록 관리를 실시하도록 하고 있으나, 절차에 따른 핫 볼팅을 제대로 실시하지 않았음.
- 핫 볼팅 대상 설비에 대한 목록이 없고, 실시결과에 대한 기록 관리가 실시되지 않고 있음.

3 위험성평가 미흡

- 고온으로 운전되는 핫 볼팅 대상 설비에 대해 인화성가스 누출 가능성을 고려하여 위험성 평가를 실시하고 개선대책을 수립하여야 하나,
 - 핫 볼팅 대상설비 주변에서의 일반작업(보온재 설치작업)시 인화성 가스 누출 여부 확인 등의 검토가 제대로 이루어지지 않음.
 - 부반응에 의해 설비의 운전온도보다 낮은 자연발화점을 갖는 물질이 생성될 수 있으나 그 가능성에 대한 검토가 미흡하였음.

05. 동종사고 예방대책

1 플랜지 등 접속부 관리 철저

- 플랜지 등 접속부를 통해 설비 내부의 인화성가스가 새지 않도록 개스킷 설치 및 볼트의 조임을 확실시 하고 누설 여부를 확인하여야 함.
- 원추형 스프링 와셔(Belleville Washer) 사용, 링조인트의 삽입, 열팽창 영향의 최소화를 위한 보다 긴 볼트와 슬리브를 사용, 단열패드 사용 등으로 접속부에 대한 설비측면의 개선 관리가 필요함. [※출처: 장치산업에서의 손실방지공학, Frank P. Lees.]

2 핫 볼팅(Hot Bolting) 절차 준수 철저

- 운전온도가 200 °C 이상인 설비에 대해 플랜지 등 접속부를 개방하여 작업 후 재조립 후 운전온도 도달시 핫 볼팅 절차에 따라 핫 볼팅을 실시하고 누설 여부를 확인한 결과를 기록 관리하여야 함.
- OCU공정에 대해 핫 볼팅 대상 설비가 누락되지 않도록 목록화하고 핫 볼팅 실시 결과 및 누설여부 확인결과를 기록·관리하는 것이 필요함.

3 위험성평가 보완 및 개선대책 수립

- 플랜지 등 접속부 주변에 대한 보온작업시 인화성 가스 누출 가능성을 고려하여 작업 전 인화성가스 누출 여부 등을 확인하고,
- 부반응에 의해 설비의 운전온도보다 발화점이 낮은 물질이 생성될 수 있음을 고려하여 설비의 표면 온도가 부반응 생성물의 발화점 보다 낮게 관리 될 수 있도록 관리하는 것이 필요함.



06. 사고로부터 얻은 교훈

열교환기 채널커버 인화성가스 누출·화재사고로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

1 플랜지 등 접속부 관리 철저

- 이번 사고는 플랜지가 고온으로 상승하면서 금속의 열팽창으로 인한 접속부에서 누출 발생 가능성을 인지하지 못한데서 비롯된 사고이다.
- 고온으로 운전되는 설비의 정기보수 후 정상운전을 위한 승온 시 설비 연결부위에서 누출 될 가능성을 인지하고 있어야 하며 접속부에서 누출이 발생하지 않도록 적절한 조치를 취해야 한다.

2 핫 볼팅 작업절차 준수

- 이번 사고는 고온으로 운전되는 설비에 대해 정비보수 후 정상운전을 위해 설비의 승온 시 금속의 열팽창으로 인한 접속부 누출을 방지하기 위한 핫 볼팅 절차를 준수하지 않아서 발생한 사고이다.
- 고온으로 운전되는 설비는 승온 시 금속의 변형으로 인해 저온에서 볼팅 후 설비의 온도가 200 °C 이상의 고온에서 추가 볼트 재조임 작업이 필요하며 미 실시 시 접속부에서 내부 유체 누출의 위험이 있다.
- 이런 위험은 핫 볼팅(Hot Bolting) 작업절차서를 준수하여 제거할 수 있다.
- 핫 볼팅이 필요한 대상 설비목록 작성 및 핫 볼팅 실시여부를 관리하여 화학설비의 현재 위험 상태를 파악하고, 위험의 사전 대응을 통해 유사한 사고를 예방할 수 있음.

3 법은 최소한의 요구 사항이고 위험성평가는 필수

- 「산업안전보건법」과 관련 시행령, 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 요구하는 안전보건 수칙은 작업자의 안전보건을 지키기 위한 최소한의 요건임을 인지하고 법에서 요구하는 안전수칙은 필히 준수하여야 한다.
- 또한, 법에서 요구하는 최소한의 안전보건 조치를 한 후 사업주는 정기적으로 사업장에서 발생 가능한 모든 위험성에 대하여 평가하여야 한다.
- 위험성평가는 정상적인 공정 가동 중에 발생 가능한 공정 위험성평가와, 일상 작업과 정기 보수작업 등 모든 작업에 대한 위험성을 도출해내는 작업 위험성평가로 구분할 수 있다.
- 특히 작업위험성평가의 경우 작업 내용에 치중해 물질의 위험성에 대해서는 소홀히 하는 경우가 있을 수 있으므로 부반응에 의한 설비의 운전온도보다 낮은 자연발화점을 갖는 물질의 생성의 위험 등 다양한 관점에서 위험성을 검토하여야 한다.



07. 유사 사고사례

1 열교환기 연결부 수소 누출로 인한 폭발

발생일시	1992년 10월
사고장소	일본 지바 시 소재 정유공장
피해내용	사망 : 10명, 부상 7명
사고내용	정유소에서 촉매를 교체 후 진공 가스 오일 유체 탈황장치를 가동하는 과정에서 장시간 보수로 인한 열교환기 내부 열화, 경화로 볼트 조임이 적절하지 못해 수소가 누출되어 폭발이 발생한 사고임.

2 밸브 플랜지에서 인화성물질 누출로 인한 화재

발생일시	2014년 2월
사고장소	전남 소재 정유공장
피해내용	피해 없음
사고내용	Platforming 공정의 반응기 우회배관 밸브 플랜지에서 볼트 체결의 부적절한 작업방법으로 인해 볼트의 균등한 체결력이 유지되지 않아 수소 및 납사가 누출되어 화재가 발생됨.

08. 참고자료

1. 산업안전보건법, 고용노동부; 2020
2. 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006
3. 중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2020
4. 장치산업에서의 손실방지공학, Frank P. Lees.
5. KOSHA Guide O-2-2016 볼트·너트의 선정 및 체결에 관한 기술지침
6. KOSHA Guide O-4-2011 화학공장의 정비·보수에 관한 안전관리 지침

작성

임 청 산 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))
 오 상 규 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))
 박 봉 두 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))
 김 영 규 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))

검 토

중대산업사고예방실 양상철 실장
 중대산업사고예방실 기술기준부 이준연 부장
 중대산업사고예방실 공정안전부 임지표 부장
 중앙사고조사단 강성광 부장
 중앙사고조사단 박웅기 과장
 산업안전보건교육원 권현길 교수
 산업안전보건교육원 강민수 교수

화학사고 사례연구

『열교환기 채널커버 인화성가스 누출·화재사고』

발행일 • 2020년 6월

발행인 • 안전보건공단 이사장 박두용

발행처 • 안전보건공단 중대산업사고예방실
 울산광역시 중구 중가로 400
 Tel 052.703.0500

편집디자인 • 필드가이드
 Tel 02.6375.2665

이 교재는 안전보건공단의 동의 없이 무단으로 수정, 편집하거나 이를
 활용하여 다른 저작물을 제작하는 것은 저작권법에 위반되는 것이므로,
 이를 금하며, 자료 내용은 안전관리 업무의 절대적인 기준이 아닌
 참고자료로 업무상 이의제기 등 소명자료로서 효력이 없음을 알려드립니다.



열교환기 채널커버 인화성가스 누출·화재사고

사고개요

2018년 12월 ○○○사업장 내 OCU공정의 반응기 후단 열교환기 채널커버(Channel Cover)에서 Mixed C₄ 및 프로필렌이 누출되면서 점화되어 열교환기 보온작업 중이던 협력업체 작업자가 얼굴에 화상을 입은 재해임



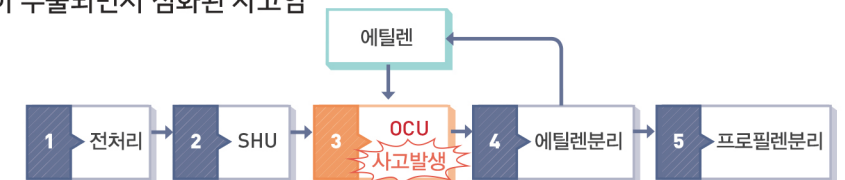
[그림 1] 화재발생 열교환기 CCTV 화면기



[그림 2] 사고발생 열교환기

사고발생공정 및 물질

NCC 공정의 부산물인 Mixed C₄와 에틸렌을 반응시켜 프로필렌으로 전환시키는 공정의 정기보수 후 정상 운전을 위해 공정의 승온과 보온작업을 동시에 진행 중 열교환기의 접합부에서 고온에 의한 금속의 변형으로 Mixed C₄ 및 프로필렌이 누출되면서 점화된 사고임



사고발생물질

물질명	CAS No.	함량(mol%)	인화범위(%)	인화점(°C)	발화점(°C)	점화에너지(mJ)
에틸렌	74-85-1	23.9	2.7~36	-136	490	0.124
프로필렌	115-07-1	43.5	2.4~10.3	-108	460	0.28
에틸렌, 프로필렌, Mixed C ₄ 혼합물	106-98-9	31.6	1.6~10	-110	385	자료없음
	106-97-8		1.8~8.4	-60	365	자료없음
	624-64-6		1.8~9.7	-73	324	자료없음
2-펜텐/3-헥센	627-20-3 7642-09-3	31.6	자료없음	-	280~470	자료없음

열교환기 채널커버 인화성가스
누출·화재사고사례 (2018.12.)

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

열교환기 채널커버 인화성가스 누출·화재사고

사고발생원인

플랜지 등 접속부 관리 미흡

- 플랜지 등의 접합부는 개스킷을 사용하여 누출이 발생하지 않도록 관리하여야 하나 열교환기 채널커버 고정용 볼트의 조임이 제대로 이루어지지 않아 설비 내부의 인화성 가스가 누출되어 화재가 발생하였음

핫볼팅(Hot Bolting) 절차 미준수

- 200 ℃이상에서 운전되는 설비에 대해 핫볼팅(Hot Bolting)을 실시하고 접속부에 대해 누출 여부를 확인하고 기록 관리를 실시하도록 하고 있으나, 절차에 따른 핫볼팅을 제대로 실시하지 않았으며 핫볼팅 대상 설비에 대한 목록이 없고, 실시결과에 대한 기록·관리가 실시되지 않았음

동종사고 예방대책

플랜지 등 접속부 관리 철저

- 플랜지 등 접속부를 통해 설비 내부의 인화성가스가 새지 않도록 개스킷 설치 및 볼트의 조임을 확실히 하고 누설 여부를 확인하여야 함

핫볼팅(Hot Bolting) 절차 준수 철저

- 운전온도가 200 ℃ 이상인 설비에 대해 플랜지 등 접속부를 개방하여 작업 후 재조립 후 운전온도 도달 시 핫볼팅 절차에 따라 핫볼팅을 실시하고 누설 여부를 확인하여 그 기록을 관리하여야 하며 공정에 대해 핫볼팅 대상 설비가 누락되지 않도록 목록화하고 핫볼팅 실시 결과 및 누설여부 확인 결과를 기록·관리해야 함

위험성평가 보완 및 개선대책 수립

- 플랜지 등 접속부 주변에 대한 보온작업 시 인화성 가스 누출 가능성을 고려하여 작업 전 인화성 가스 누출 여부 등을 재확인하고, 부반응에 의해 설비의 운전온도보다 발화점이 낮은 물질이 생성 될 수 있음을 고려하여 설비의 표면 온도가 부반응 생성물의 발화점 보다 낮게 관리 될 수 있도록 관리하는 것이 필요함