

발 간 등 록 번 호

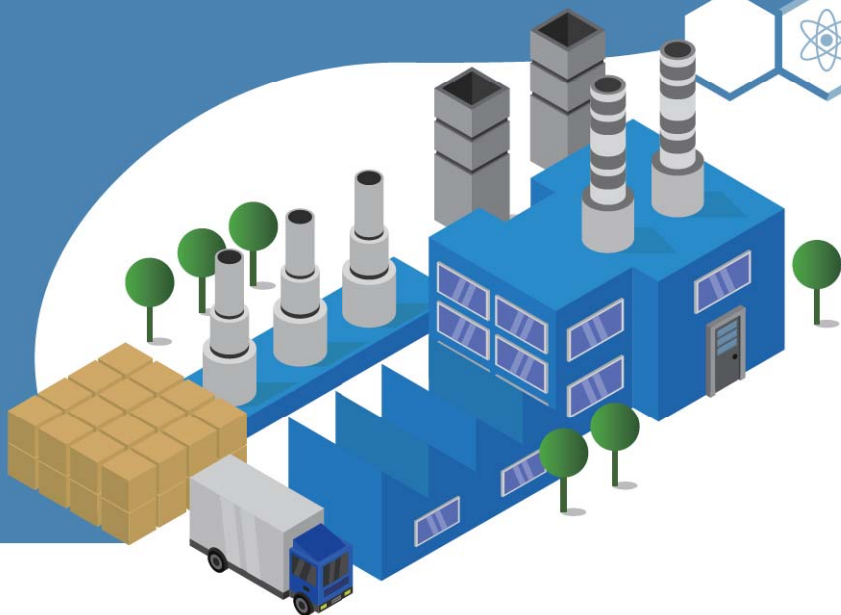
11-1480802-100019-01

NICS-GP2024-19

원인조사-C24-008

정수장 고압염소용기 용기 부 누출 사고 사례

2024. 12.

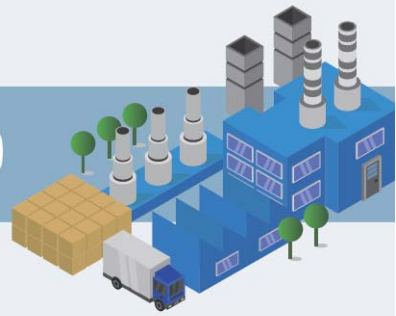


환경부

책임운영기관

화학물질안전원

정수장 고압염소용기 용기 부 누출사고 사례 (요약)



■ 사고개요

‘24.3.18.(월) 23:44분경 경기도 의정부시
OOO사업소의 염소보관실 내 염소용기 측면에
핀 홀(2.6 mm)이 발생하여 염소가스 누출



■ 사고물질

염소

- 자극적인 냄새가 나는 녹황색 기체로 강력한 산화력과 독성을 가지며 수분과 접촉 시 금속이나 다른 물질들을 쉽게 부식시키는 특성이 있음

■ 사고원인(추정)

용기 내 수분 유입으로 공식 진행 후 핀 홀 발생으로 인한 누출

■ 문제점

- 염소보관실의 온·습도 관리 상태 미흡
- 염소용기 재검사 중 수분 유입에 따른 부식 가능성 존재

■ 사고예방대책

- 안전한 정수처리를 위한 공정·물질 교체
- 용기 재검사 시 수분 유입을 차단할 수 있는 내압시험 종료 절차 마련



본 사례는 국내에서 발생한 화학사고 조사·분석을 통해 동종 사고의 재발방지를 위해 교육용 자료 등으로 작성한 참고자료로 사고와 관련한 민형사상 판단근거로 삼을 수 없음을 알려드립니다.

CONTENTS

I

용어설명	6
------	---

II

사업장 현황	8
--------	---

사고현황	9
------	---

가. 사고내용	9
---------	---

나. 사고시설 공정개요	10
--------------	----

III

사고 전개과정 조사	12
------------	----

가. 사고 전후 상황	12
-------------	----

나. 사고발생 시설분석	15
--------------	----

다. 사고발생 물질정보	20
--------------	----

IV

사고원인 및 잠재위험요소	21
---------------	----

가. 사고원인: 수분 유입 제어 실패	21
----------------------	----

나. 잠재위험요소	22
-----------	----

V

개선방안	23
------	----

VI

사고대응 및 응급조치	24
-------------	----

가. 사고대응 방법	24
------------	----

나. 응급조치 방법	24
------------	----

참고문헌	25
------	----

용어설명

■ 고압용기(실린더)

내부에 높은 압력을 가진 가스를 저장하거나 운반하는 용기를 말하며 압축된 가스나 액화된 가스를 저장할 때 사용됨

■ 염소(Chlorine, Cl₂)

할로젠 원소의 하나로 상온에서는 심한 자극성을 갖는 황록색의 무거운 기체로 자극적인 냄새가 나며 액체상태에서는 진한 황색을 띠는 독성가스 겸 조연성 가스로 산화제·표백제·소독제로 쓰임

염소의 물리·화학적(Physico-Chemical) 특성

명칭	분자식	CAS No.	분자량(g/mol)		외관	냄새
염소 (Chlorine)	Cl ₂	7782-50-5	70.9		녹황색 기체	매우 자극적인 냄새
밀도 (g/L@0℃, 1atm)		끓는점 (℃)	인화점 (℃)	용해도 (g/L@25℃)		비중(@0℃, 1atm) 공기=1
3.2		-34.0	-	6.9		2.5
위험 정보						

- 반응성이 매우 강하며 흡입하면 유독함
- 증기는 공기보다 무거우며 지면을 따라 이동할 수 있음
- 강한 산화제로 작용하여 금속이나 유기화합물을 산화시킬 수 있음
- 물에 용해되어 염산과 차아염소산의 혼합물을 형성
- 습도 요인이 있는 곳에서 모든 금속류에 매우 부식성
- 피해야 할 조건 : 열, 직사광선, 습도 등
- 피해야 할 물질 : 수소, 암모니아, 금속 분말, 플라스틱, 고무 등

Source : CAMEO Chemicals

■ 공식(Pitting corrosion)

부식 중 공식은 금속 표면에 작은 구멍이 생기는 국부적 부식 현상으로 초기에는 작지만 점차 깊게 파고들어 금속을 약화시키고 주로 염화이온(Cl⁻)이 있는 환경에서 발생

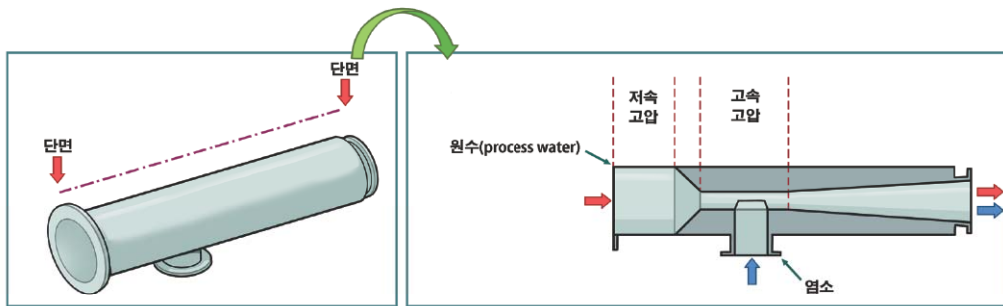


■ 벤츄리 효과

유체가 좁은 통로를 지날 때 유체의 속도가 증가하고 압력은 낮아지는 효과

■ 이젝터

벤츄리 효과를 이용하는 펌프의 일종으로 고압의 유체가 지닌 압력에너지를 이용하여 흡입 유체를 빨아들여 이송하는 기계장치



■ 응력 부식(Stress corrosion)

높은 응력을 받는 강재는 응력이 없을 때보다 녹이 더 빨리 생기는데 이를 응력 부식이라고 한다.



사업장 현황

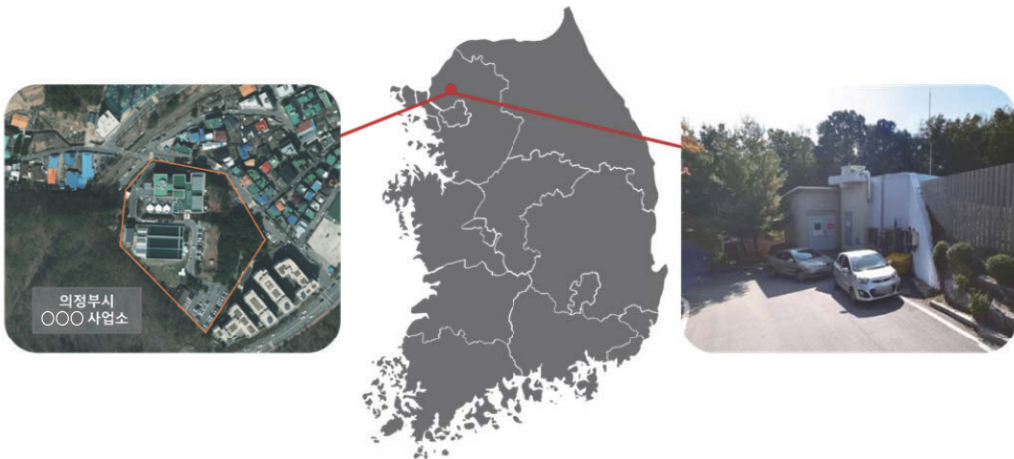
- 사업장명 의정부시 000사업소
- 주소 경기도 의정부시
- 준공일자 2007. 12.
- 사업장 면적 18,992㎡(사고공정 32.67㎡)
- 종업원 수 86명
- 단위공정 소독공정
- 취급 유해화학물질 염소, 수산화나트륨
- 인·허가 및 화학안전관리계획서 현황
 - (영업허가) 유해화학물질 사용업(최초허가 '20.11, 최종변경허가 '23.01)
 - 연간 취급량 5.6톤, 사업장 면적 18.992m2, 종업원수 86명
 - (정기검사) 2020년~2023년 정기검사 이상없음
 - (화관서) 해당 없음
 - (장외영향평가서) 장외영향평가서 검토결과 적합('20.6.)
 취급시설 설치검사('20.10.)
 - (지도·점검) 2021년~2023년 한강청 지도점검 결과 이상없음
- 법정교육 이수현황
 - 2022년 안전교육 관리자 4명, 종사자 1명 교육이수
 - 2023년 안전교육 관리자 1명, 종사자 4명 교육이수
- 자체 교육훈련 현황
 - 2021년~2023년 염소누출 대비 소방합동훈련 연 1회, 자체교육 연 1회



II 사고현황

가. 사고내용

- 일 시 '24.3.18.(월) 23:44분경
- 장 소 경기도 의정부시
- 사고물질 염소
- 사고시설 염소 실린더
- 사고유형 누출
- 시설유형 저장 및 공급
- 사고내용 염소 보관실 내 염소용기 측면에 핀홀(2.6 mm)이 발생하여 염소가스 누출
- 물적피해 고압용기 파손
- 인명피해 없음
- 환경피해 없음



나. 사고시설 공정개요

표준 정수 공정

- 표준정수공정은 수원에서 취수한 물을 정화하여 수돗물로 만드는 공정으로 크게 취수, 혼화지, 응집지, 침전지, 여과지, 소독의 과정으로 이뤄짐



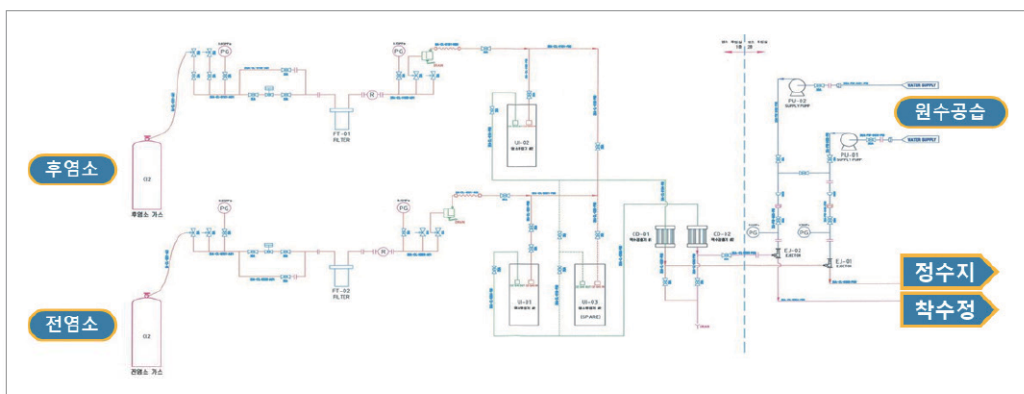
〈표준정수공정〉

※ 출처: 한국수자원공사

- (저수지 착수정) 저수지에서 원수 확보 후 착수정에서 원수의 모래 등 큰 입자를 가라앉히며 원수를 안정화
- (혼화시설) 원수에 포함되어 있는 불순물을 효과적으로 제거하기 위해 필요한 약품을 원수에 혼합
- (플록형성지 및 침전지) 약품 혼화지에서 불안정화된 입자들을 서로 뭉쳐 침전이 가능한 입자로 성장시키며 응집되어 침전이 가능해진 입자들을 침전하여 원수로부터 분리
- (급속여과기) 침전으로 제거되지 않는 미세한 입자를 제거하는 공정
- (정수지) 정전이나 수요량의 급변 등에의해 발생 되는 여과수량과 송수량 간의 불균형을 조절 및 완화하는 목적을 가짐
- (염소주입시설) 본 사고가 발생한 시설로 고압염소용기를 통해 염소를 적정농도를 유지하며 착수장(전염소) 및 정수지(후염소)로 이송

염소주입공정

- 염소를 적정농도로 투입하고 유지하여 정수지로 이송하는 공정으로 액화염소용기 내에서 기화한 염소가 투입기를 통해 이젝터를 거쳐 직접적으로 물에 투입되는 방식



〈염소 주입 공정〉

- 염소는 물에 용해되어 소량의 염산과 차아염소산을 생성하며 차아염소산은 열 또는 빛 등에 의해 분해되어 산소와 염산을 생성한다. 이때 발생한 산소는 표백, 살균력이 있어서 수도물의 살균 등에 사용되고 있다.



III

사고 전개과정 조사

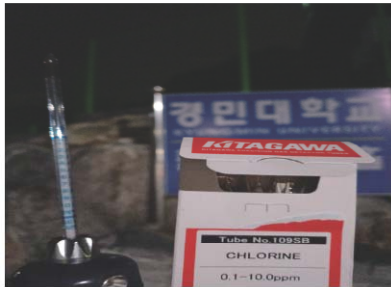
가. 사고 전후 상황

사고 Time Table

2023.8.21. 사고용기 재검사입고 용기 재검사를 위해 의정부부시에서 용기 재검사 업체로 사고용기 2기 입고	9.4. 염소충전 입고 재검사 업체에서 용기검사 완료 후 염소가스 충전을 위해 염소가스 충전 업체로 용기 입고	1.10. 의정부부시 염소용기 입고 의정부부시 정수장 염소용기 저장소로 염소용기 입고	3.19 2차 사고 발생
8.23. 용기 재검사 실시 재검사 업체에서 사고용기 2기 재검사 실시	2024.1.3. 염소 충전 작업 실시 염소가스 충전 업체에서 염소 충전작업 실시	3.14 1차 사고 발생	

시간	내용																
3월 18일(월) 23:44경	※ 사고 상황은 사업장 담당자 증언에 따라 추정 ● 염소 투입실에서 염소가스누출 경보 울림 및 현장 확인																
3월 19일(화) 00:27	● 119 신고																
00:36	● 재난문자 발송																
00:41 ~ 01:50	● 소방현장지휘차, 화학안전관리단 현장 도착 ● 현장 오염도 측정(한강유역환경청, 이하 한강청) <table><tr><th>측정지점</th><th>측정물질</th><th>측정농도(ppm)</th><th>측정장비</th></tr><tr><td>원점 20m 이격</td><td>염소</td><td>0.5~0.6</td><td>복합가스측정기</td></tr><tr><td>원점</td><td>염소</td><td>49.9</td><td>복합가스측정기</td></tr><tr><td>후문 100m 이격</td><td>염소</td><td>0~0.5</td><td>복합가스측정기</td></tr></table> ※ 염소 급성노출기준(AEGL-2, 1h): 2.0 ppm	측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비	원점 20m 이격	염소	0.5~0.6	복합가스측정기	원점	염소	49.9	복합가스측정기	후문 100m 이격	염소	0~0.5	복합가스측정기
측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비														
원점 20m 이격	염소	0.5~0.6	복합가스측정기														
원점	염소	49.9	복합가스측정기														
후문 100m 이격	염소	0~0.5	복합가스측정기														
01:54	● 밴드로 1차 막음 조치(90%) 완료, 추가 조치 진행																



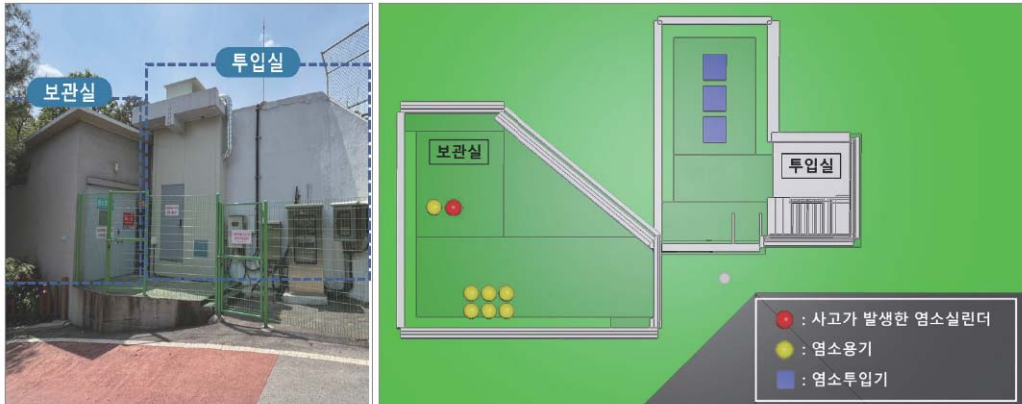
02:06 ~ 02:14	● 현장 오염도 측정(한강청) <table><tr><th>측정지점</th><th>측정물질</th><th>측정농도(ppm)</th><th>측정장비</th></tr><tr><td>후문</td><td>염소</td><td>불검출</td><td>검지관</td></tr><tr><td>보관시설 앞</td><td>염소</td><td>0.3~0.4</td><td>복합가스측정기</td></tr><tr><td>인근 주택가</td><td>염소</td><td>불검출</td><td>검지관</td></tr></table>	측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비	후문	염소	불검출	검지관	보관시설 앞	염소	0.3~0.4	복합가스측정기	인근 주택가	염소	불검출	검지관				
측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비																		
후문	염소	불검출	검지관																		
보관시설 앞	염소	0.3~0.4	복합가스측정기																		
인근 주택가	염소	불검출	검지관																		
02:25	● 현장 오염도 측정(한강청) <table><tr><th>측정지점</th><th>측정물질</th><th>측정농도(ppm)</th><th>측정장비</th></tr><tr><td>후문 경민대 인근</td><td>염소</td><td>불검출</td><td>검지관</td></tr></table>   〈인근 지역 현장오염도 측정〉	측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비	후문 경민대 인근	염소	불검출	검지관												
측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비																		
후문 경민대 인근	염소	불검출	검지관																		
02:58	● 누출부위 임시 조치 완료																				
03:28 ~ 03:46	● 현장 오염도 측정(한강청) <table><tr><th>측정지점</th><th>측정물질</th><th>측정농도(ppm)</th><th>측정장비</th></tr><tr><td>20m 이격지점</td><td>염소</td><td>불검출</td><td>검지관</td></tr><tr><td>원점</td><td>염소</td><td>10~49.9</td><td>복합가스측정기</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>검지관</td></tr><tr><td>인근 주택가</td><td>염소</td><td>불검출</td><td>검지관</td></tr></table>	측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비	20m 이격지점	염소	불검출	검지관	원점	염소	10~49.9	복합가스측정기				검지관	인근 주택가	염소	불검출	검지관
측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비																		
20m 이격지점	염소	불검출	검지관																		
원점	염소	10~49.9	복합가스측정기																		
			검지관																		
인근 주택가	염소	불검출	검지관																		
03:53	● 현장 오염도 측정(한강청) <table><tr><th>측정지점</th><th>측정물질</th><th>측정농도(ppm)</th><th>측정장비</th></tr><tr><td>원점</td><td>염소</td><td>10</td><td>검지관</td></tr></table>	측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비	원점	염소	10	검지관												
측정지점	측정물질	측정농도(ppm)	측정장비																		
원점	염소	10	검지관																		
05:43	● 염소가스 취급업체 관계자 현장 도착																				

06:42	● 염소용기 밀폐 작업완료(미누출 확인)   〈염소용기 밀폐 작업완료〉
07:20	● 염소용기 현장 반출 완료   〈보관실 내 염소용기 전량 회수〉



나. 사고발생 시설분석

사고발생 당시 염소주입공정(투입실, 보관실) 염소용기 배치 상태



〈보관실 및 투입실 내 염소용기 배치도〉

- 사고 발생 당시 염소소독공정은 3.14.(목)에 발생한 염소누출(1차) 사고로 인해 폐쇄된 상태였으며 보관실에는 1.10.(수)에 입고된 염소용기들을 보관 중이었음
 - 보관실에 보관 중인 염소용기 중 한 개의 용기에서 염소 누출
- 염소주입공정(투입실, 보관실)에 설치 된 국소배기장치는 슬롯형으로 벽면 쪽 바닥에 설치되어 있었고 이와 연결된 스크러버 전단 송풍기의 설계용량은 약 6 CMM($6\text{m}^3/\text{min}$)으로 $360\text{m}^3/\text{hr}$ 이었고 실측결과 약 $210\text{m}^3/\text{hr}$ 였음
 - Scrubber Stack 지름(d) : 16 cm
 - Stack 유속(V) 산정결과 : 2.9 m/s
 - 송풍기 측정 유량(Q) : $Q = A \times v$ (단면적 $\times$ 유속)

$$Q = \frac{\pi \times (0.16\text{m})^2}{4} \times 2.9(\text{m/s}) = 0.0582784(\text{m}^3/\text{s})$$

$$= 209.8(\text{m}^3/\text{hr})$$

염소용기

● 100 kg 염소용기 사양

	내용적	84 L
	용기중량	60 kg
	내압시험	2.9 MPa
	재질	KSD3560 SB410
	내경	353 mm
	길이	1,147 mm
	도색	Brown

Chemical composition (%)	탄소 (Carbon, C)	t≤25	0.24 max
		25<t≤50	0.27 max
		50<t	0.30 max
	실리콘 (Silicon, Si)		0.15~0.40
	망간 (Manganese, Mn)		0.90 max
	인 (Phosphorus, P)		0.030 max
	황 (Sulfur, S)		0.030 max
Yield strength (MPa)			225 min
Tensile strength (MPa)			410~550
Elongation (%)	No. 1A (t≤50)		21 min
	No. 10 (50<t)		25 min

【KSD3560 SB410】

- 용기 무게는 $60\text{kg} \pm 1\sim 2\text{kg}$ (58kg~62kg)

- 염소용기를 염소투입기에 연결하여 사용하는 경우 중량계 위에 염소용기를 놓아두기 때문에 실시간으로 염소 무게를 확인하며 염소용기 교체 시기를 판단
- 용기 교체 시 완충된 염소용기의 전체 무게는 보통 약 160kg~170kg [염소무게(100kg)+ 용기자체 무게(60kg)] 사이로 중량이 표시되고, 염소를 사용함에 따라 무게가 감소



〈투입실 내 중량계〉



〈투입실 외부 염소중량 계기판〉

- 사고가 발생한 용기는 2003년 4월 제조한 용기로 2023년 8월 30일에 용기 재검사(KGS AC217 2021 고압가스 용접용기 재검사기준)에 합격하여 2024년 8월까지 사용이 유효하였음
- 사고 용기는 2024년 8월 이후부터 신규검사 후 20년 이상이 되는 시점으로 1년 주기로 용기 재검사 주기가 변경되는 시점을 앞에 두고 있었음

사고 발생 염소용기의 내부



〈염소용기 측면 핀 홀(외부)〉



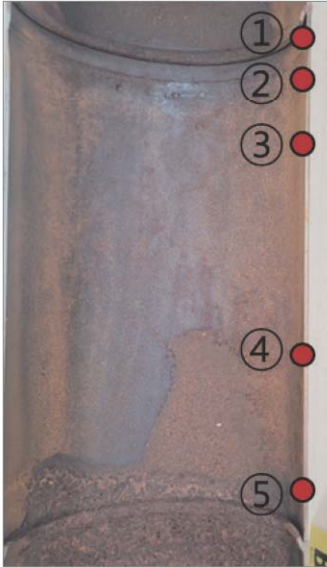
〈염소용기 측면 핀 홀(내부)〉



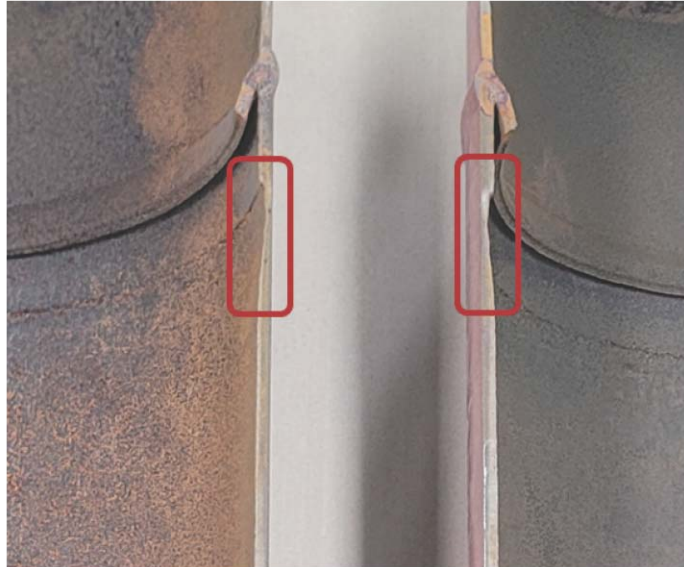
〈사고가 발생한 염소용기 내부〉

- 사고가 발생한 염소용기를 절단하여 내부를 관찰한 결과 실린더 내부에 전체적으로 부식에 의한 공식이 발생한 것을 확인하였으며, 특정 높이에 선형의 부식흔이 발견됨

사고 발생 염소용기의 측면 두께 측정



〈염소용기 두께 측정 지점〉



〈염소용기 측면부 두께〉

	①	②	③	④	⑤
측정 지점					
두께	6.01 mm	2.59 mm (핀 홀과 동일 선상)	5.31 mm	5.58 mm	5.77 mm

- 사고가 발생한 염소용기를 절단하여 측면부의 두께를 측정한 결과, 핀홀과 동일 선상의 높이에 용기 두께가 확연하게 얇은 것을 확인
 - 용기 내로 유입된 수분이 충전된 액화염소의 계면에서 부식을 일으키며 선형의 부식흔이 생긴 것으로 추정

※ 액화염소의 비중 = 1.47 kg/m³

다. 사고발생 물질정보

염소(Chlorine, Cl₂)

- 강력한 산화력을 갖는 자극적인 냄새가 나는 녹황색 기체로 산화제·표백제·소독제로 쓰임. 표준상태(0℃, 1bar)에서 두 개의 원자가 결합하여 염소 분자를 형성하며 두 원자 사이의 결합력(242.6kJ/mol)은 비교적 약한 편이라 반응성이 큰 편임
- 강한 독성과 부식성을 지니고 있어 수분과 접촉 시 금속이나 다른 물질들을 쉽게 부식시키는 특성이 있음
- 특히 염소이온(Cl⁻)에 의한 부식은 국소적으로 진행되며 깊이 파고드는 형태로 나타나는 특징이 있어 배관 등에 구멍이 뚫리는 형태의 부식(공식, pitting corrosion)을 잘 일으킴

염소(Chlorine, Cl₂)와 부식의 일반적인 메커니즘

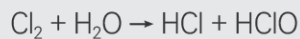
(1) 염소 이온(Cl⁻)의 부식 촉진

알루미늄(Al), 철(Fe), 스테인리스강 등의 금속은 표면에 부동태 산화막(예: Al₂O₃, Fe₂O₃)이 형성되어 부식을 억제하지만, 염소이온은 이 산화막을 국소적으로 파괴하여 부식을 촉진함

염소 이온은 금속 표면에 공식과 같은 국소 부식을 유발

(2) 염소 가스(Cl₂)와 부식

염소 가스는 물과 반응하여 염산(HCl)을 형성할 수 있어 이로 인해 산성 환경이 조성되며, 금속이 더욱 빠르게 부식될 수 있음



이 반응으로 생성된 염산(HCl)은 철, 구리, 알루미늄과 같은 금속을 빠르게 부식시킴



IV

사고원인 및 잠재위험요소

가. 사고원인: 수분 유입 제어 실패

| 용기 내 수분 유입으로 공식 진행 후 핀 홀 발생으로 인한 누출

용기 재검사 과정 및 검사 후 보관과정 등의 경로로 유입된 수분으로 인한 부식 누적, 약해진 용기 내부에서 공식 발생 후 용기 내압에 의해 취약해진 부식부가 파공되며 염소가스가 누출된 것으로 추정됨

※ 용기 재검사 시 내압시험(충수) 후 건조과정에서 건조공기 퍼징 작업을 하지 않음

- 사고용기 내부부식 0.42 mm 진행된 것으로 추정*되며 사고용기 핀홀 발생 부 주변은 약 2.68 mm의 부식이 진행

* 정상용기 두께 : 6mm, 사고용기 : 5.58 mm, 핀홀 주변: 3.32 mm

주요 사실 요약

- ◆ 사고용기 무게 감소: 0.5 kg
 - ◆ 사고용기 평균 두께: 5.58 mm, 핀홀주변 두께: 2.68 mm
 - ◆ 염소이온(Cl^-)에 의한 부식은 국소적으로 깊이 파고드는 형태로 진행
 - ◆ 핀 홀 발생 부분인 계면(기상/액생)에서 더 많은 부식이 진행
 - ◆ 용기 재검사 시 내압시험 후 건조로에서 건조하나 이후 퍼징 작업은 생략
- 수분이 함유된 염소는 HCl과 HOCl로 분해되어 금속의 부식을 급속히 발생시키는데 HCl(10%) 비중 약 1.05, HOCl 1.05~1.2, 액화염소의 비중은 1.41로 상대적으로 가벼운 HCl 및 HOCl이 계면에 체류하며 계면에서 선형의 부식이 더 크게 발생
 - 계면에 형성된 강산 환경하에서 염소이온(Cl^-)에 의한 공식이 더해 핀홀 발생 후 염소가스가 누출된 것으로 추정

나. 잠재위험요소

온·습도 관리 상태 미흡

- 고압가스용기의 경우 40℃ 미만으로 유지하여야 하나 사고현장의 염소가스용기는 보관소에 온·습도 관리가 되지 않고 있었음

고압용기 보관실 및 공급실 출입문 및 창문관리 철저

- 고압가스 용기에서의 누출의 경우 출입문 개폐 여부 및 창문 개폐 여부에 따라 피해확산 범위가 크게 달라질 수 있어 화학사고 피해 최소화를 위해 출입문 및 창문 관리 필요
※ 사고 당시 창문은 개방된 상태로 염소가스 확산범위 확대의 주요 요인으로 작용

염소 공급단으로 수분 역류 위험

- 이젝터 후단 배관 동결 및 밸브 오조작으로 차단 및 유량 감소 시 이젝터 내부 음압 파괴로 원수가 염소 공급단으로 역류하여 부식 및 설비 파손으로 인한 사고 위험



개선방안

안전한 정수처리를 위한 공정·물질 교체 유도

- 주거지 인접 정수장 등 우선순위를 정하여 염소보다 독성이 낮은 소독제(차아염소산 나트륨)로 교체를 유도하여 누출 사고 시 인명 및 환경 피해를 최소화

수분 유입을 차단 할 수 있는 내압시험 종료 절차 마련

- 신규 재검사 업체 지정 및 기술검토 시 검사규정 내 내압시험 후 건조과정 및 육안검사 과정에 대한 항목을 검토하고 기존 재검사 업체는 기존 자체 검사규정을 개선
※ 고압가스 용기 재검사 기관으로 지정 시 가스안전공사에서 기술적 검토를 하고 있고 자체 검사규정을 포함하는 5개 서류를 가스안전공사에 제출하여 승인받아야 함

VI 사고대응 및 응급조치

가. 사고대응 방법

염소 누출 시 대응 요령

- 분무 주수를 이용하여 증기를 줄이거나 증기운의 이동을 억제하고 처리수가 누출물과 접촉되지 않도록 하며 가연성 물질(나무, 종이, 기름 등)은 누출물과 가까이 두지 않도록 할 것
- 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수는 금하고, 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리하며 유·누출 지역을 환기시킬 것
- 급양압식 전면마스크 또는 호스마스크를 착용하며 화재 위험성이 존재하지 않을 경우 3 또는 4형식 이상의 화학물질용 보호복을 착용하고 가연성 물질과 누출물을 멀리할 것
- 대피 시에는 가스의 확산 상태 및 풍향을 확인하고 바람이 불어오는 방향으로 대피할 것

나. 응급조치 방법

염소 노출 시 응급조치 요령

- 염소에 노출된 경우 신선한 공기를 흡입하고 기침이나 다른 증상이 있을 경우 의료 조치를 취해야 함
- 피부에 접촉했을 경우 즉시 흐르는 물에 20분 이상 씻어내며 오염된 모든 의복과 신발은 제거 후 격리하도록 함



참고

참고문헌

1. 임우조, 양학희, 인현만, 이진열 공역, 부식과 방식, 원창출판사 2023.
2. Eto, I., Akiyoshi, M., Matsunaga, T., Miyake, A., Ogawa, T. Influence of heavy metal ion on the thermal explosion of hydrogen peroxide. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2006; 85(3): 623-627.
3. Cantor, A.F.; Park, J.K.; Vaiyavatjamai, P. The effect of chlorine on corrosion in drinking water systems, J. Am. Water Work. Assoc. AWWA. 2003
4. Roberge P.R. handbook of Corrosion Engineering, McGraw Hill Professional: New York, NY, USA, 2012
5. 화학물질종합정보시스템, 화학물질안전원

○ 저자

- 김병훈 연구관, 이지혜 연구사, 황성범 연구관, 서경석 연구사

○ 협조

- 조윤제 연구관, 윤영옥, 김덕현 연구사, 이두연, 김아림 전문위원

○ 검토

- 황승울 과 장

○ 도움을 주신 분들

- 김희산 교수(홍익대학교)
- 이익모 교수(인하대학교)
- 장희진 교수(조선대학교)
- 정승호 교수(아주대학교)
- 정근홍 교수(육군사관학교)
- 김종우 부장(한국환경공단)

발행일: 2024년 12월

발행인: 환경부 화학물질안전원장 박봉균

펴낸곳: 환경부 화학물질안전원 화학사고조사팀

환경부 화학물질안전원

충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명11로 270

홈페이지: <http://nics.me.go.kr>

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고 조사·분석을 통해 동종사고의 재발방지를 위해 교육용 자료 등으로 작성한 참고자료로 사고와 관련한 민·형사상 판단근거로 삼을 수 없음을 알려드립니다.

※ 본 사례집을 화학물질안전원 허락 없이 일부 또는 전체를 복사, 복제하는 것은 저작권법에 저촉됩니다.
