

성과감사

감 사 보 고 서

－ 석유화학산업단지 배관 안전관리실태 －
(산업용 사외배관 중심으로)

2022. 4.

감 사 원

목 차

I. 감사실시 개요	1
II. 감사대상 업무 현황	5
III. 감사결과	19
1. 감사결과 총괄	19
2. 분야별 실태와 문제점	21
가. 사외배관 정보관리 분야	21
나. 배관 설치기준 및 검사기준 분야	37
[별표]	59

표 목차

[표 1] 국내 화학물질 유통량	1
[표 2] 국내 3대 석유화학산업단지 현황	7
[표 3] 석유화학산업단지 내 사외배관 설치 현황(2021년 말)	8
[표 4] 3대 석유화학산업단지의 굴착공사 신고 건수(2017~2021년)	9
[표 5] 3대 석유화학산업단지 사외배관 사고 신고 건수(2014~2021년)	10
[표 6] 울산산단 지하 배관 사고 사례	11
[표 7] 배관 종류별 소관 법률 및 관리주체	12
[표 8] 산업용 배관 관련 법령 및 배관 설치 허가권자	12
[표 9] 울산산단, 여수산단 안전관리체계 구축사업 현황	17
[표 10] 지적사항 현황	19
[표 11] 사외배관 정보관리의 적정성 판단기준	21
[표 12] 산업부의 울산산단, 여수산단 사외배관 DB 구축 지원 현황	25
[표 13] 전국 6대 지하시설물 현황(2021년 말)	28
[표 14] 울산산단 사외배관 누락 현황	31
[표 15] 여수산단 사외배관 DB(3차원) 구축 및 시스템 개발사업 현황	32
[표 16] 사외배관 설치 및 검사기준의 적정성 판단기준	37
[표 17] 산업용 배관 관련 법령	39
[표 18] 배관 종류별 정기검사 및 정밀안전진단 주기	40
[표 19] 이송물질별 소관 중앙부처 및 관련 법령	40
[표 20] 석유화학산업단지 연도별 화물차 교통사고 건수	41
[표 21] 산업용 배관 등을 보호하기 위한 방호설비 설치에 관한 기준	42
[표 22] 지하에 매설하는 화학물질 배관 설치기준	47
[표 23] 미국의 방식성능 확인 규정	48
[표 24] 울산지역 산업단지 내 지하 배관 안전진단 결과	50
[표 25] 울산산단 내 화학물질 이송 사외배관 부식 사례	51

표 목차

[표 26] 고압가스 배관에서의 화재 발생 요소	54
[표 27] 고압가스 배관 화재 발생 현황(2012~2021년)	54
[표 28] 고압산소 배관 화재 방지 대책	55
[표 29] 고압가스 배관 화재 요소별 주원인과 대책	56
[표 30] 석유화학산업단지 고압산소 배관 볼밸브 설치 현황	57

그림 목차

[그림 1] 울산산단 및 여수산단 사외배관	8
[그림 2] 지하 배관 보호 장치	10
[그림 3] 고압가스 배관 설치 및 검사·진단 체계	13
[그림 4] 지하 배관 설치 절차 및 배관 정보관리 흐름도(「도로법」 적용 구간)	14
[그림 5] 굴착공사 신고 처리절차	16
[그림 6] 지하공간 통합지도 구성	24
[그림 7] 여수산단 사외배관 DB	33
[그림 8] 지하시설물 조사, 탐사, 측량 수행절차	33
[그림 9] 기준전극을 이용한 방식전위 측정	47
[그림 10] 밸브 형식 비교	55

사진 목차

[사진 1] 석유화학산업단지 사외배관 사고 사례	10
[사진 2] 파이프랙에 설치된 지상 배관 전경(여수산단)	41
[사진 3] 화물차가 주행 중 도로를 이탈한 사례	42
[사진 4] 방호설비 설치 모습	44
[사진 5] 고압산소 배관 화재로 인한 폭굉 발생 사례	53
[사진 6] 고압산소 배관에 설치된 볼밸브 관리상태	57

I. 감사실시 개요

1. 감사배경 및 목적

국내 3대 석유화학산업단지로 불리는 울산·여수·대산 석유화학산업단지는 [표 1]과 같이 전국에서 연간 유통되는 화학물질¹⁾ 총 638.2백만 톤의 52.1%에 해당하는 332.8백만 톤이 위 지역에서 유통될 만큼 화학물질 유통량과 집적도가 높다.

[표 1] 국내 화학물질 유통량

(단위: 백만 톤, %)

구분	화학물질 유통량	비율	지역적 범위
전국	638.2	100.0	
국내 3대 석유화학산업단지 계	332.8	52.1	
울산	163.7	25.6	울산·미포, 온산 국가산업단지
여수	128	20.1	여수 국가산업단지
대산	41.1	6.4	대산 일반산업단지 등 6개 산업단지

자료: 2018년 화학물질 통계조사(환경부)

울산·여수·대산 석유화학산업단지에는 2021년 말 현재 산업단지에 입주한 공장들끼리 고압가스, 화학물질, 위험물 등을 주고받기 위해 사업소의 울타리 밖 도로나 녹지에 5,199km의 배관(사외배관)을 설치하였고, 사외배관 전체 연장 중 72.5%에 해당하는 3,770km가 지하에 매설되어 있다.

- **(사외배관이란?)** 석유화학산업단지와 같이 정유업체와 화학제품 생산업체가 밀집된 곳에서는 공장들끼리 배관을 설치하여 공장 가동에 필요한 연료나 원료를 주고받는 경우가 많은데, 연료나 원료 공급 배관 중 공장 울타리 밖에 설치된 배관을 **사업소 외(外) 배관** 또는 **사외(社外)배관**이라 부르고
 - 사외배관은 지상, 지하 배관으로 구분되는데, 지하 배관은 대부분 도로 하부에 매설하고, 지상 배관은 파이프랙이라 불리는 배관 지지구조물을 만들어 파이프랙 위에 배관을 설치하고 있음

그리고 울산과 여수 석유화학산업단지는 조성공사 착공 후 20년 이상 시간이 경과하여 2021년 11월 현재 이미 노후 산업단지로 분류되고 있다.

1) 화학물질 유통량(제조량+수입량+수출량)은 「화학물질관리법」에 근거하여 2년마다 환경부가 조사하여 발표

한편, 석유화학산업단지 내에서 추가로 배관을 매설하거나 지반조사를 위한 굴착공사를 시행하는 빈도가 꾸준히 증가하고 있는 것도 사실이다. 이에 따라 굴착공사 과정에서 기존에 매설된 배관을 손상시킬 가능성이 높아지고 있다. 또한, 지하에 매설된 배관은 부식되어 유해물질이 누출되는 사고도 발생할 수 있다.

2016년과 2017년에 경주와 포항에서 진도 5.0이 넘는 지진이 발생한 이후 울산광역시, 여수시, 서산시 등 석유화학산업단지 인근 주민들이 시설물 안전에 대한 불안감을 지속적으로 호소하고 있다. 이에 국내 3대 석유화학산업단지에 설치된 사외배관에 대한 관리실태를 점검하여 석유화학산업단지 사외배관의 안전성을 향상하는 데 기여하고자 이번 감사를 2021년 감사계획에 반영하고 실시하게 되었다.

2. 감사대상 및 중점

이번 감사에서는 울산 석유화학산업단지(울산·미포 국가산업단지와 온산 국가산업단지), 여수 석유화학산업단지(여수 국가산업단지), 대산 석유화학산업단지²⁾(서산시 대산읍 일원)의 사업소 밖에 설치된 고압가스, 화학물질 및 위험물 이송용 배관의 관리실태를 감사대상으로 선정하였다. 이들 석유화학산업단지에서는 공장 가동이나 제품 생산에 필요한 연료나 원료를 사업소 외 도로 하부나 녹지 등에 설치한 배관을 통해 공장들끼리 서로 주고받는 경우가 많기 때문이다.

2) 대산 일반산업단지 등 6개 일반산업단지와 ◆◆주식회사 등 4개 기업의 개별공장으로 형성됨

지하에 매설된 배관의 경우 다른 배관을 설치하기 위해 굴착공사를 시행하다가 기존에 매설된 배관을 손상시키거나 배관이 부식되어 유해물질이 누출될 수 있다. 지상에 설치된 배관의 경우에는 굴착공사나 부식으로 인한 배관 파손 위험성은 적지만 차량 충돌 등 외부 요인에 의해 배관이 파손될 수 있다.

이에 지하 배관에 대한 정보관리의 적정성과 지상 및 지하 배관의 안전사고 예방을 위한 설비 및 배관 설치기준, 검사기준 등의 적정성을 점검하는 데 중점을 두어 산업통상자원부 등 8개 기관을 대상으로 감사를 실시하였다.

3. 감사실시 과정

실지감사에 앞서 자료수집 기간(2021. 10. 18.~11. 19.) 동안 석유화학산업 단지 내 입주기업이 사업소 외에 설치한 배관의 안전관리 등과 관련된 각종 연구논문, 언론보도 및 국회 논의사항 등 관련 자료를 수집하였다.

지방자치단체 등이 지리정보시스템으로 관리하는 사외배관 현황, 지방자치단체의 도로점용(굴착) 허가 자료, 고압가스, 화학물질, 위험물 등을 이송하는 배관에 대한 검사 업무를 수행하는 한국가스안전공사 등 전문검사기관이 파악하고 있는 사외배관 현황 등을 수집·분석하였다. 이를 바탕으로 2021. 11. 29.부터 같은 해 12. 17.까지 15일간 감사인원 11명을 투입하여 실지감사를 하였다.

4. 감사결과 처리

감사결과와 관련하여 2021. 12. 24. 산업통상자원부 수소경제정책관, 환경부 환경보건국장, 소방청 화재예방국장 등과 감사마감회의를 하고, 업무처리 경위·

향후 처리대책 등에 대한 답변서를 받는 등 주요 지적사항에 대한 의견을 교환하였다. 이후 감사원에서는 감사마감회의에서 제시된 의견 등을 포함하여 지적사항에 대한 내부 검토를 거쳐 2022. 4. 21. 감사위원회의의 의결로 감사결과를 최종 확정하였다.

Ⅱ. 감사대상 업무 현황³⁾

[약어 및 주요 용어 설명]

이하 사용되는 약어와 주요 용어의 정의는 다음과 같다.

<기관명>

- 국토교통부: 국토부
- 산업통상자원부: 산업부
- 지방자치단체: 지자체
- 한국가스안전공사: 가스안전공사
- 한국산업단지공단: 산업단지공단
- ○○: □□

<법령명 등>

- 「고압가스 안전관리법」: 고압가스법
- 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」: 액화석유가스법
- 「위험물안전관리법」: 위험물관리법
- 「송유관 안전관리법」: 송유관법
- 「지하안전관리에 관한 특별법」: 지하안전법
- 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」: 공간정보관리법
- 「고압가스 특정제조 시설·기술·검사·감리·정밀안전검진 기준」: 고압가스 시설 설치 및 검사기준
- 「유해화학물질 사외배관 이송시설 설치 및 관리에 관한 고시」: 유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시
- 「유해화학물질 취급시설의 설치·정기·수시검사 및 안전진단의 방법 등에 관한 규정」: 유해화학물질 취급시설 검사 및 진단 규정

<기타>

- 울산석유화학산업단지(울산·미포 국가산업단지와 온산 국가산업단지): **울산산단**
- 여수석유화학산업단지(여수 국가산업단지): **여수산단**
- 대산석유화학산업단지(서산시 대산읍 일원의 대산 일반산업단지 등 6개 일반산업단지와 ♀♀주식회사 등 4개 기업의 개별공장): **대산산단**

3) 이 부분은 감사결과 지적된 문제점의 종합적인 이해를 돕기 위하여 감사대상 업무의 현황을 기술한 것으로, 감사대상기관이 제출한 자료 등을 바탕으로 작성되었고, 현장조사 등 감사의 방법으로 검증한 내용이 아님

<기타>

- 공장 가동에 필요한 연료나 원료로 사용되는 고압가스, 화학물질, 위험물 등을 이송하는 배관: **산업용 배관**
- 전력관, 통신관, 도시가스관, 열수송관 등 지하시설물을 설치·관리하는 ♡♡공사, 기간통신사업자, ○○○공사, 도시가스공급사업자, ●●공사 등: ♡♡공사 등 **유관기관**
- 상하수도관, 전력관, 통신관, 도시가스관, 열수송관: **6대 지하시설물**

【 주요 용어 설명 】

- **고압가스**: 섭씨 35도의 온도에서 압력이 1Mpa 이상이 되는 압축가스 또는 상용의 온도에서 압력이 0.2Mpa 이상인 액화가스(고압가스법 시행령 제2조)
- **유해화학물질**: 유독물질, 허가물질, 제한물질 또는 금지물질, 사고대비물질, 그 밖에 유해성 또는 위해성이 있는 화학물질(「화학물질관리법」 제2조)
- **위험물**: 인화성 또는 발화성 등의 성질을 가지는 물품으로서 제1류(산화성 고체), 제2류(가연성 고체), 제3류(자연발화성 물질 및 급수성 물질), 제4류(인화성 액체), 제5류(자기반응성 물질), 제6류(산화성 액체)로 구분됨(위험물관리법 시행령 제2조 [별표 1])
- **파이프랙(pipe rack)**: 산업단지 등에서 배관을 지상에 설치할 수 있도록 한 지지구조물
- **공간정보**: 지상·지하·수상·수중 등 공간상에 존재하는 자연적 또는 인공적인 객체에 대한 위치정보 및 이와 관련된 공간적 인지 및 의사결정에 필요한 정보
- **지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)**: 공간정보를 효과적으로 수집, 저장, 분석, 표현할 수 있도록 서로 유기적으로 연계된 컴퓨터의 하드웨어, 소프트웨어, 자료의 집합체로 대상물에 대한 위치정보와 속성정보를 통합·관리하여 지도 형태로 정보를 제공하는 시스템
- **주요지하매설물**: 도시가스 배관, 송유관, 상수도관, 송전시설, 전기통신회선설비, 고압가스 이송 배관, 위험물 이송 배관, 화학물질 이송 배관, 도시철도, 열수송관(「도로법 시행령」 제59조)
- **지하시설물 통합DB**: 지자체와 ♡♡공사 등 유관기관이 관리하는 상하수도관, 전력관, 통신관, 도시가스관, 열수송관 등 6대 지하시설물 정보를 국토부가 통합한 데이터베이스
- **지하공간 통합지도**: 지하안전법에 근거하여 지하를 개발·이용·관리하기 위하여 필요한 지하공간정보(지하시설물 정보, 지하구조물 정보, 지반 정보)를 통합한 지도
- **울산석유화학공업단지**: 울산·미포 국가산업단지를 구성하는 6개 지구(울산석유화학공업단지, 여수지구, 매암지구, 용연지구, 효문지구, 미포지구) 중 하나로 울산광역시 남구 부곡동 일원에 조성된 공업단지

1. 석유화학산업단지

가. 3대 석유화학산업단지

석유화학산업은 나프타(Naphtha)⁴⁾ 또는 천연가스를 원료로 합성수지, 합성섬유, 합성고무 및 각종 기초 화학제품을 생산하는 산업을 말한다. 석유화학업체는 광양, 구미, 군산 등의 지역에도 일부 입주해 있으나 [표 2]와 같이 대규모로 조성된 울산, 여수, 대산산단에 많이 입주해 있다. 이에 울산, 여수, 대산산단을 석유화학업종의 집적도가 높기 때문에 국내 3대 석유화학산업단지로 부르고 있다.

[표 2] 국내 3대 석유화학산업단지 현황

(단위: 천 m², 개, 천 명)

구분	지정면적	입주기업	종사자 수	가동시점
울산산단	74,383	1,138	105.0	1972년
여수산단	51,229	292	24.5	1979년
대산산단	15,325	11	4.3	1991년

자료: 산업단지공단 및 ■■협회

나. 석유화학산업단지 사외배관 설치 현황

석유화학산업단지와 같이 정유업체와 화학제품 생산업체가 밀집된 곳에서는 공장 가동이나 제품 생산에 필요한 연료나 원료를 공장들끼리 주고받는 경우가 많다. 이때 인근 공장 등으로부터 연료나 원료를 공급받는 배관 중 공장 울타리 밖에 설치된 배관을 ‘사업소 외(外) 배관’ 또는 ‘사외(社外)배관’이라 부르고 있다.

사외배관은 지상, 지하에 설치되고 있고, 울산·여수·대산산단의 경우 [표 3]과 같이 지상 1,429km, 지하 3,770km, 합계 5,199km의 사외배관이 설치되어 있다.

4) 원유를 증류할 때 나오는 유분으로서, 석유화학업체는 나프타를 고온으로 열분해하여 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔 등의 석유화학 원료를 생산하고 있으며, 정유사와 석유화학업체는 비교적 가까운 위치에 공장을 설치하여 파이프라인을 통해 나프타를 이송함으로써 운반비를 줄일 수 있음

[표 3] 석유화학산업단지 내 사외배관 설치 현황(2021년 말)

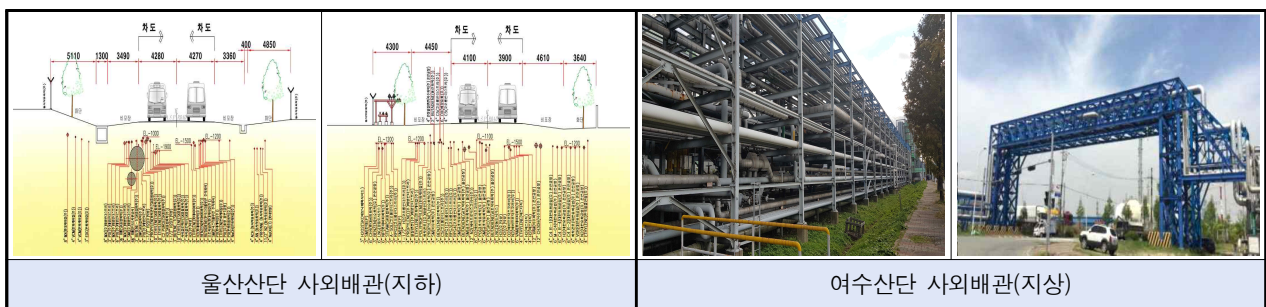
(단위: km)

구분	합계	지상				지하			
		소계	가스관	화학관	기타	소계	가스관	화학관	기타
합계	5,199	1,429	390	674	365	3,770	741	924	2,105
울산산단	3,059	12	8	3	1	3,047	629	742	1,676
여수산단	2,092	1,410	380	670	360	682	100	167	415
대산산단	48	7	2	1	4	41	12	15	14

자료: 지자체 및 석유화학산업단지 입주기업 제출자료

울산산단은 [그림 1]과 같이 과거부터 사외배관을 도로 하부에 매설함에 따라 전체 배관 연장(3,059km)의 99.6%에 해당하는 3,047km가 땅속에 매설되어 있다. 여수산단은 지하에 매설된 사외배관의 관리가 어렵다고 판단하여 도로 인근에 배관 지지구조물인 파이프랙을 만들고, 파이프랙 위에 배관을 설치하고 있어 전체 배관 연장(2,092km) 중 32.6%에 해당하는 682km의 배관만 지하에 매설되어 있다. 대산산단은 전체 사외배관 48km 중 41km가 지하에 설치되어 있으나 울산산단, 여수산단의 지하 사외배관 규모에 비하면 미미하다.

[그림 1] 울산산단 및 여수산단 사외배관



자료: 울산산단 입주기업협의회, 산업단지공단 제출자료

다. 굴착공사로 인한 지하 사외배관 사고 위험성

석유화학산업단지에서는 배관을 신규로 매설하기 위해 굴착공사를 시행할 때 기존에 매설된 배관의 정확한 위치를 모른 채 공사를 진행할 경우 기존에 매설된 배관이 손상될 위험성이 매우 높다.

울산산단의 경우 상하수도관의 신규 설치나 지반조사 등을 위한 굴착공사가 [표 4]와 같이 2017년에 291건에서 2021년에 395건까지 증가하는 등 울산, 여수, 대산산단에서 굴착공사 건수가 꾸준히 증가하고 있어 지하에 매설된 배관이 굴착공사로 인해 손상될 위험성은 점점 높아지고 있다. 특히, 배관이 손상되었을 때에는 사고 피해 복구를 위해 더 넓은 범위로 굴착을 해야 하는 문제점도 있다.

[표 4] 3대 석유화학산업단지의 굴착공사 신고 건수(2017~2021년)^{주)}

(단위: 건)

구분	합계	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
합계	2,351	335	405	502	537	572
울산산단	1,788	291	356	336	410	395
여수산단	432	33	37	136	93	133
대산산단	131	11	12	30	34	44

주: 2017년부터 2021년까지 굴착공사 정보지원센터에 접수된 울산광역시, 여수시, 서산시 관내 굴착신고서 54,157건 중에서 감사원 감사자료분석시스템을 이용하여 석유화학산업단지 내 굴착공사만 추출
자료: 가스안전공사(굴착공사 정보지원센터) 제출자료 재구성

라. 지하 배관을 손상으로부터 보호하기 위한 장치

고압가스법, 「화학물질관리법」, 위험물관리법 등에서 정한 세부 시설기준에 따르면 산업용 배관을 지하에 매설할 때에는 매설 깊이는 1m 이상을 확보하고, 다른 배관과는 0.3m 이상 거리를 두어야 한다.

또한, 배관 부식 방지를 위한 도장, 피복 및 전기방식 조치를 [그림 2]와 같이 하고 있으며, 고압가스 배관은 굴착공사 등으로 인한 배관 손상을 방지하기 위하여 배관 상부에 보호관, 보호포, 라인마크(line maker) 등을 설치하도록 하여 지하에 매설한 배관이 손상되는 사고를 예방하고 있다.

[그림 2] 지하 배관 보호 장치



자료: 인터넷 검색자료

마. 3대 석유화학산업단지 사외배관 사고 현황

울산산단과 여수산단에서는 [사진 1]과 같이 배관을 새로이 매설하려는 자가 기존에 매설된 배관의 위치를 정확히 파악하지 않은 채 굴착공사를 진행하다가 배관을 손상시키거나 배관 부식 또는 시공 불량으로 유해물질이 유출되는 사고가 발생하고 있다. 2014년부터 2021년까지 [표 5]와 같이 28건의 신고가 소방서 등에 접수되었다.

[사진 1] 석유화학산업단지 사외배관 사고 사례



자료: 감사대상기관 제출자료

[표 5] 3대 석유화학산업단지 사외배관 사고 신고 건수(2014~2021년)

(단위: 건)

구분	합계	굴착공사	재료 또는 시공 불량	부식	기타 ^{주)}
합계	28	5	4	3	16
울산산단	27	5	3	3	16
여수산단	1	0	1	0	0
대산산단	0	0	0	0	0

주: 열수송관이 빗물이나 지하수와 만나 수증기가 발생한 것을 가스 누출로 의심하여 신고한 사례 등

자료: 감사대상기관 제출자료 재구성

이 중 울산산단에서 발생한 지하 배관사고 총 27건은 [표 6]과 같이 굴착공사로 인한 배관 손상사고가 5건, 재료 또는 시공 불량 3건, 부식 3건, 기타 16건⁵⁾이었다. 굴착공사로 인한 배관 손상사고는 배관설치자가 기존에 매설된 배관의 정확한 위치를 확인하지 않은 채 지하에 배관을 신규로 매설하는 공사를 하다가 기존에 매설된 배관을 손상시켜 발생한 사고였다.⁶⁾

[표 6] 울산산단 지하 배관 사고 사례

사고 원인	사고일자	이송물질	사고 발생지	사고내용
굴착공사	2014. 1. 3.	프로판가스 ¹⁾	울산 남구	▪ 송유관 신규 매설공사 중 기존 배관 손상
굴착공사	2014. 2. 22.	자일렌 ²⁾	울산 울주군	▪ 배관 신설을 위한 천공작업 중 기존 배관 손상
굴착공사	2014. 11. 12.	물	울산 울주군	▪ 배관 신설을 위한 굴착공사 중 기존 배관 손상
굴착공사	2015. 10. 8.	수소	울산 남구	▪ 배관 공사를 위한 지반조사 중 기존 배관 손상
굴착공사	2016. 4. 1.	질소	울산 울주군	▪ 배관 신설을 위한 시추작업 중 기존 배관 손상
부식	2017. 5. 19.	산화프로필렌 ⁴⁾	울산 남구	▪ 산화프로필렌 배관이 부식되어 누출
부식	2018. 9. 13.	스팀(steam)	울산 남구	▪ 스팀(steam) 배관이 부식되어 폭발
부식	2020. 5. 13.	스티렌모노머 ⁵⁾	울산 남구	▪ 스티렌모노머 배관이 부식되어 누출
재료 및 시공불량	2014. 2. 26.	스팀(steam)	울산 남구	▪ 스팀 배관 플랜지(flange)의 개스킷 파손
재료 및 시공불량	2014. 5. 1.	프로필렌테트라머 ³⁾	울산 남구	▪ 배관 용접부 균열
재료 및 시공불량	2018. 10. 13.	스팀(steam)	울산 울주군	▪ 스팀 배관이 파손되어 누출

주: 1. 프로판가스(propane gas): 90% 이상의 프로페인 주성분으로 프로필렌, 부탄, 부틸렌이 일정량 혼입된 가스 (주로 가정용 연료로 용기에 담아 공급)

2. 자일렌(xylene): 유독물질로서 눈, 피부, 점막에 자극적이며 화상을 입거나 접촉 시 피부염 유발

3. 프로필렌테트라머(propylene tetramer): 중합조정제(TDM, 합성수지 등 고분자물질의 합성 시 분자량 조정)의 주원료로 사용됨

4. 산화프로필렌(propylene oxide): 식료품 살균에 주로 사용되며, 흡입 시 호흡곤란 유발

5. 스티렌모노머(styrene monomer): 자극성 냄새가 나는 무색 또는 황색을 띠는 인화성 액체로 폴리스티렌 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 합성고무의 원료로 사용됨

자료: 감사대상기관 제출자료 재구성

5) 대부분 고온의 지하배관으로 인한 수증기 발생과 하수냄새 등을 가스 누출로 오인하여 신고

6) 울산권 국가산단 지하배관 통합안전관리센터 기본계획 수립(산업단지공단, 2020년)

2. 배관 관리 법령

가. 배관 설치 관련 주요 법률

석유화학산업단지에는 상하수도관, 전력관, 통신관, 도시가스관, 열수송관, 송유관 외에도 공장 가동에 필요한 연료나 원료를 이송하는 산업용 배관 등 다양한 배관이 지상, 지하에 설치되어 있으며, 각각의 배관들은 [표 7]과 같이 그 용도에 따라 각각 다른 법령에 근거하여 설치 및 관리되고 있다.

[표 7] 배관 종류별 소관 법률 및 관리주체

배관 종류	중앙행정기관	소관 법률	관리주체
상하수도관 화학물질관	환경부	「수도법」 「하수도법」 「화학물질관리법」	- 지자체 - 제조소
도시가스관, 고압가스관, 송유관, 전력관, 열수송관	산업부	「도시가스사업법」 - 고압가스법 - 액화석유가스법 - 송유관법 「전기사업법」 「집단에너지사업법」	- 한국가스공사 - 도시가스사업자 - 제조소 - 대한송유관공사 - 한국전력공사 - 한국지역난방공사
위험물관	소방청	위험물관리법	제조소
통신관	과학기술 정보통신부	「전기통신사업법」	통신사업자

자료: 관련 법령 재구성

산업용 배관은 배관설치자가 [표 8]과 같이 고압가스법, 「화학물질관리법」, 위험물관리법에 따른 배관설치계획에 대해 지자체 등의 허가를 받아 설치하고 있고, 아래 “산업용 배관 설치 및 운영단계 안전관리체계”와 같이 배관 설치단계, 배관 운영단계별로 안전관리체계를 갖추고 있다.

[표 8] 산업용 배관 관련 법령 및 배관 설치 허가권자

이송물질	관련 법률	상세기준	배관 설치(영업) 허가권자
고압가스	고압가스법	- 고압가스법, 고압가스 시설 설치 및 검사기준 - 고압가스 배관 보호 기준	지자체
화학물질	「화학물질관리법」	유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시	환경부 ^{주)}
위험물	위험물관리법	- 위험물관리법 시행규칙 제28조(제조소의 기준) - 위험물관리법 시행규칙 제39조(이송취급소의 기준)	소방서

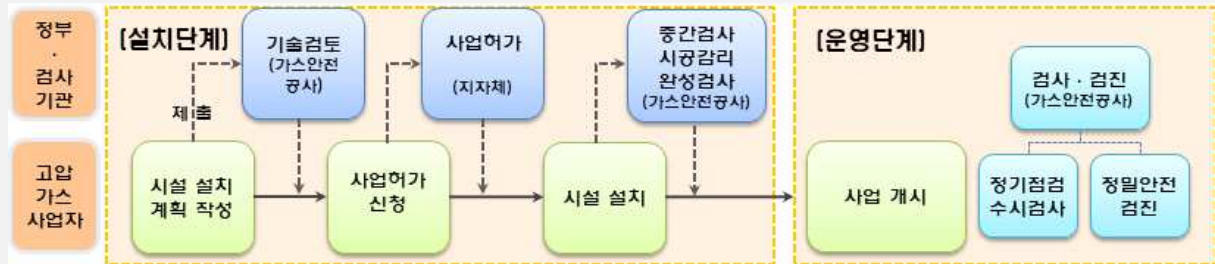
주: 배관설치계획에 대해 화학물질안전원이 화학사고예방관리계획서를 검토한 후 배관 설치 가능

자료: 관련 법령 재구성

[산업용 배관 설치 및 운영단계 안전관리체계]

- **(고압가스 배관)** 배관설치자는 [그림 3]과 같이 설치단계부터 고압가스법에 따라 가스안전공사로부터 배관설치계획에 대한 기술검토를 받은 후 지자체의 허가를 받아야 하고, 배관 설치공사 중에는 가스안전공사로부터 시공감리, 중간검사를 받아야 하며, 배관 설치공사를 완료한 때에는 사용을 개시하기 전에 완성검사를 받아야 함
- 그리고 운영단계에서는 고압가스법에서 정한 주기에 따라 정기검사를 받아야 하고, 완성검사 후 15년이 지난 시점부터는 4년마다 정밀안전검진을 받도록 되어 있음

[그림 3] 고압가스 배관 설치 및 검사·진단 체계



자료: 고압가스법 재구성

- **(화학물질, 위험물 배관)** 고압가스 배관과 비슷하게 배관설치자가 「화학물질관리법」, 위험물관리법에 따라 설치단계에서 전문검사기관의 기술검토, 지자체나 환경부의 허가를 받아 배관 설치공사를 시행하고, 공사가 완료되면 완성검사를 실시하고 있으며, 운영단계에서 정기검사, 정밀안전진단을 받고 있음

나. 지하 배관 공간정보 관리 법령

「국가공간정보 기본법」, 공간정보관리법 등에 따르면 국가 등은 지상·지하·수중 등 공간상에 존재하는 자연적 또는 인공적 객체에 대한 위치정보 및 속성 정보(이하 “공간정보”라 한다) 등을 정해진 표준에 따라 생산하여 관리하도록 되어 있다.

이에 따라 지자체, ♥♥공사 등 유관기관은 상수도관, 하수도관, 전력관, 통신관, 도시가스관, 열수송관 등 6대 지하시설물 정보를 각각 관리하고 있으며, 국토부는 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관이 각각 관리하는 6대 지하시설물 정보를 통합(지하시설물 통합DB)한 후 통합된 정보를 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관과 공유하고 있다.

국토부는 지하안전법에 따라 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관이 각각 관리하는 6대 ‘지하시설물 정보’와 지하철 등 ‘지하구조물 정보’, ‘지반 정보’를 통합한 ‘지하공간 통합지도’를 작성하여 지하의 개발·이용·관리에 활용하도록 하고 있다.⁷⁾

3. 석유화학산업단지 내 지하 사외배관 굴착공사 위험관리체계

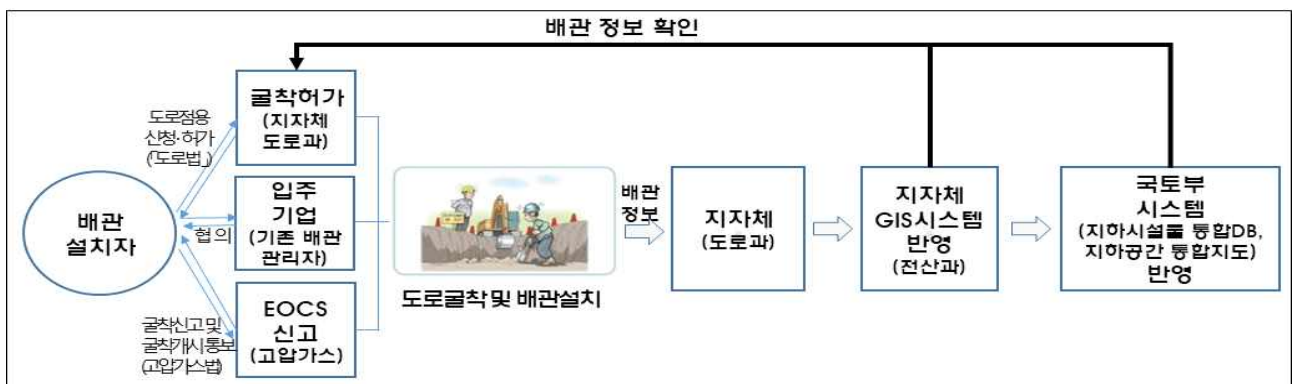
가. 사외배관 지하 매설을 위한 굴착공사 허가

석유화학산업단지 등에서 산업용 사외배관을 신규로 설치하고자 할 때에는 배관설치자가 [표 8]과 같이 이송물질 종류별로 고압가스법, 「화학물질관리법」, 위험물관리법에 따라 배관 설치계획에 대하여 지자체, 환경부, 소방서로부터 허가를 받아야 하고, 배관을 지하에 매설하는 경우에는 아래와 같이 도로 등을 굴착하기 위한 추가 절차를 거쳐야 한다.

1) 「도로법」상 도로에 배관을 매설하는 경우

일반적으로 배관을 「도로법」상의 도로 하부에 매설하는 경우 배관설치자는 [그림 4]와 같이 「도로법」 제61조에 따라 도로의 관리청[이하 “지자체(도로과)”라 한다]⁸⁾에 도로점용(굴착) 허가(이하 “굴착허가”라 한다)를 신청하고, 지자체(도로과)는 지자체 GIS시스템 등을 활용하여 굴착공사 구간에 기존에 매설된 배관이 존재하는지 확인한 후 굴착허가 여부를 결정하게 된다.

[그림 4] 지하 배관 설치 절차 및 배관 정보관리 흐름도(「도로법」 적용 구간)



자료: 관련 법규 재구성

7) 지하시설물 통합DB와 지하공간 통합지도에 반영되는 6대 지하시설물 정보는 지자체 GIS시스템과 동일한 자료임
8) 현행 「도로법」상 도로관리청은 국토부, 한국도로공사, 지자체 등이 있으나 석유화학산업단지 내 도로는 대부분 도시계획도로에 해당하여 지자체가 도로관리청이므로 본 보고서에서는 지자체(도로과)로 표기함

배관설치자는 도로 하부에 배관 매설을 완료한 후에 「도로법 시행규칙」 제32조에 따라 신규 배관 정보(지하시설물도⁹⁾)를 지자체(도로과)에 제출하여야 하고, 배관 정보를 제출받은 지자체(도로과가 전산과에 연계)는 배관 정보를 해당 지자체 GIS시스템에 등록하여 관리하게 된다.

이때 신규 매설 배관이 공간정보관리법 등에서 지정한 지하시설물인 경우에는 배관 정보가 국토부의 지하시설물 통합DB와 지하공간 통합지도에 연계·반영되어 공간정보가 현행화¹⁰⁾되고, 이렇게 현행화된 정보는 다시 지자체(도로과)가 굴착 허가 여부 등을 검토할 때 활용된다.

그러나 신규 매설된 배관이 공간정보관리법 등에서 지하시설물로 지정하지 않은 산업용 배관이라면 배관설치자가 「도로법 시행규칙」 제32조에 따라 배관 정보를 제출하더라도 일부 지자체가 자체적으로 정보를 관리¹¹⁾할 뿐 국토부의 지하시설물 통합DB 등과 연계되지 않고 있다. 이마저도 국토부가 「도로법 시행규칙」을 개정하여 산업용 배관을 주요지하매설물로 지정한 2002년 이전에 매설된 산업용 배관은 배관설치자에게 배관 정보를 제출하도록 요구할 법적 근거가 없었다.

2) 「도로법」상 도로가 아닌 곳에 배관을 매설하는 경우

「도로법」의 적용을 받지 않는 사도(私道) 등에 배관을 매설하는 경우에는 「도로법」 제61조에 따른 굴착허가 대상도 아니므로 배관설치자가 토지소유주의 허락을 받아¹²⁾ 배관을 매설하고 있다.

9) 공간정보관리법 제2조 제10호에 따른 수치주제도(數値主題圖) 중 하나로, 지하시설물 종류로는 「공공측량 작업 규정」 제168조에서 정한 상하수도시설, 가스공급시설, 전기통신설비, 전기설비, 송유관, 난방공급시설 등이 있음

10) 전력관, 통신관, 도시가스관, 열수송관을 도로 하부에 신규로 매설할 때 「도로법」에 따라 배관 정보를 지자체가 GIS시스템에 등록하기도 하지만 해당 배관을 설치한 ♥♥공사 등 유관기관이 신규로 설치한 배관 정보를 반영하여 국토부의 지하시설물 통합DB에 연계함으로써 배관 정보가 현행화되고 있음

11) 국토부는 6대 지하시설물 정보만 지하시설물 통합DB와 지하공간 통합지도에 연계·반영하고 있음

12) 울산산단에 설치된 공용도로 중 13km 구간은 입주기업들이 토지의 소유권을 보유하고 있어, 입주기업협의회가 도로시설물 설치 및 관리업무를 수행하고 있으며, 해당 구간에 배관을 신규로 매설하고자 할 때 배관설치자가

이처럼 산업용 배관을 사도 등에 매설하는 경우에는 배관 정보를 지자체 등에 제출하도록 하는 규정이 없어 배관설치자 외에는 산업용 배관 정보를 알 수 없다.

반면, 공간정보관리법, 지하안전법에서 지하시설물로 지정된 배관은 사도 등에 매설되더라도 배관설치자(주로 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관)가 「국가공간정보 기본법」 제2조, 제28조 등에 따라 배관 정보를 국토부 지하시설물 통합DB에 반영하도록 되어 있어 해당 배관 정보가 지자체 GIS시스템과 지하공간 통합지도에 반영되고 있다.

도로 하부에 신규로 배관을 설치하는 자는 「도로법」 제62조 제5항에 따라 기존 매설 배관관리자를 굴착공사에 입회시키고 있으며, 도로 또는 사도 등 배관 매설 위치와 관계없이 지하에 매설된 가스 배관에 초점을 맞춰 [그림 5]와 같이 고압가스법 제23조의3 등에 따라 배관설치자가 굴착공사를 시행하기 전에 가스 안전공사가 운영하는 ‘굴착공사 정보지원센터’¹³⁾에 굴착공사 계획을 신고¹⁴⁾하여 가스 배관의 위치를 확인한 후 굴착공사를 시행하게 하는 절차도 있다.

[그림 5] 굴착공사 신고 처리절차



자료: 가스안전공사 제출자료

입주기업협의회에 배관 매설 신청을 하면 입주기업협의회가 기존 매설 배관 위치 등을 검토하여 배관 매설 가능 여부를 결정하고 있음

13) 굴착공사 정보지원시스템(EOCS, Excavation One-Call System): 가스 배관 손상사고를 예방하기 위하여 터파기, 말뚝 박기 등 토지의 굴착공사를 하는 자와 도시가스, 고압가스, LP가스 사업자가 전화 또는 인터넷 등을 통하여 가스 관련 법령에서 정하는 절차에 따라 굴착공사에 관한 정보와 가스 배관 매설 정보를 주고받도록 하는 시스템

14) 굴착공사 신고는 지자체 등의 배관 설치허가, 굴착허가가 완료되고 실제로 공사에 착수하기 직전에 함

4. 산업부의 통합안전관리체계 구축사업 추진 현황

산업부는 화학재난 사고에 선제적으로 대응하는 기반을 마련하기 위하여 울산산단 지하에 매설된 사외배관 중 배관 설치 후 20년 이상이 경과한 산업용 배관에 대해 안전진단을 하고 있으며, 지하 배관을 실시간으로 모니터링할 수 있는 통합안전관리센터를 구축하고 있다.

그리고 여수산단의 지상 및 지하에 있는 사외배관 데이터베이스(이하 “사외 배관 DB”라 한다)를 3차원으로 구축하는 사업과 사외배관 DB(3차원)를 활용한 사외배관 실시간 모니터링시스템 구축 사업을 각각 진행하고 있다.

또한, 산업단지 곳곳에 환경오염물질 누출 여부를 실시간 감시하는 화학물질 검지장비를 설치하여 사외배관 실시간 모니터링시스템과 통합한 “여수산단 디지털 환경·안전 통합관제센터”를 구축하는 등 [표 9]와 같이 석유화학산업단지 사외 배관의 안전성을 향상하기 위한 사업을 시행하고 있다.

[표 9] 울산산단, 여수산단 안전관리체계 구축사업 현황

(단위: 억 원)

산업단지	전담기관	사업명	사업기간	사업비
		합계		733.6
울산산단		소계		203.7
	산업단지공단	▶ 울산권 국가산단 지하배관 안전진단(연장 910km 대상)	2018~2022년	36.5
	산업단지공단	▶ 울산산단 지하배관 통합안전관리센터 구축	2019~2023년	156
	산업단지공단	▶ 울산온산산단 지상파이프랙 구축사업 기본설계(6.4km)	2019~2022년	11.2
여수산단		소계		529.9
	산업단지공단 △△관리원	▶ 여수산단 통합안전체계 구축사업(사외배관 DB 구축)	2018~2022년	51.6
	▷▷진흥원	▶ 여수산단 재난대응 통합인프라 구축사업	2019~2023년	238.3
	산업단지공단	▶ 여수산단 디지털 환경·안전 통합관제센터 구축	2021~2023년	130
	산업단지공단 △△관리원	▶ 파이프랙 정밀안전진단 및 구조건전성 평가 기술개발	2021~2024년	110

자료: 산업부 제출자료

그러나 대산산단은 대산일반산업단지 등 6개 산업단지와 ▽▽주식회사 등 4개 기업의 개별공장으로 구성된 일반산업단지로서 사외배관 DB 구축 등을 위한 산업부의 지원은 이루어지지 않고 있다.

Ⅲ. 감사결과

1. 감사결과 총괄

감사결과 [표 10]과 같이 총 9건의 위법·부당사항이 확인되었다.

[표 10] 지적사항 현황

(단위: 건)

구분	합계	통보	통보 (시정완료)	현지조치
건수	9	7	1	1

감사결과 확인된 주요 문제점은 다음과 같다.

(가) 사외배관 정보관리 분야

- ① **(사외배관 굴착공사 위험관리 미흡)** 국토부가 공간정보 관리대상 지하시설물에 산업용 배관을 미포함, 지자체별로 산업용 배관 정보를 제각각 관리하여 배관 손상 방지 곤란
 - 또한, 2002년 이후 「도로법」상 도로 하부에 매설된 배관 정보는 관리되고 있으나 2002년 이전에 매설되거나 「도로법」 미적용 구간에 매설된 배관에 대한 정보는 미관리
 - 한편, 산업부는 여수산단 사외배관 DB를 구축할 때 배관 설치 현황 등 기초자료 확보 방안도 없이 사업 추진, 지하 배관 설치 현황을 몰라 다수의 배관 정보 누락

(나) 사외배관 설치 및 검사기준 분야

- ① **(지상 배관 방호설비 성능기준 미비)** 지상에 설치된 배관 보호를 위한 방호설비 성능에 대한 구체적 기준이 없어 불법주차 방지 시설을 방호설비로 설치, 배관이 차량 충돌위험에 노출
- ② **(지하 배관 전기방식 성능 미확인)** 화학물질 지하 배관 부식방지를 위해 전기방식 조치를 하도록 하고도 방식성능을 주기적으로 확인하도록 하는 규정 미마련, 배관이 부식 환경에 노출될 우려
- ③ **(산소 배관 화재 방지 대책 미흡)** 산소 배관은 다른 배관과 달리 배관 안에서도 화재가 발생할 수 있는데도 산소 배관에 대한 점화원 등 관리 방안 부재로 화재 위험에 노출

이에 대하여 국토부장관에게 공간정보관리법과 지하안전법에 따른 ‘지하 시설물’에 산업용 배관도 포함하여 정보를 관리하는 방안을 마련하도록 통보하는

한편, 산업부장관, 환경부장관, 소방청장에게 지상에 설치된 배관을 차량 충돌 위험으로부터 보호할 수 있게 방호설비의 성능기준을 마련하도록 통보하는 등 총 9건의 감사결과를 처분요구하거나 통보하였다.

2. 분야별 실태와 문제점

가

사외배관 정보관리 분야

중점

지하에 매설된 배관에 대한 정보가 적정하게 관리되고 있는가?

【감사초점 및 판단기준】

석유화학산업단지 사외배관에서 발생한 사고 사례 중에는 굴착공사자가 지하에 매설된 배관에 대한 정보(배관 위치, 배관 존재 여부)를 모른 채 공사를 시행함으로써 기존에 매설된 배관을 손상시켜 유해물질이 누출되는 사고가 있다.

이에 감사원은 지하에 매설된 사외배관에 대한 정보관리의 필요성이 높다고 판단되어 [표 11]의 판단기준과 같이 사외배관에 대한 정보가 적정하게 관리되고 있는지를 중점 검토하였다.

[표 11] 사외배관 정보관리의 적정성 판단기준

감사초점	판단기준
지자체 등의 산업용 사외배관 정보관리의 적정성	▪(판단기준 1) 굴착공사 시행 등으로 배관이 파손되는 사고를 예방하기 위해 지하에 매설된 배관에 대한 정보를 관리하도록 하는 제도적 장치가 마련되어 있어야 한다. ▪(판단기준 2) 사외배관 DB에 누락되는 배관이 최소화되도록 지속적인 관리가 이루어져야 한다.

【감사 접근방법】

석유화학산업단지에 설치된 사외배관에 대한 경로, 심도 등 정보가 관리되고 있는지를 확인하기 위하여 「국가공간정보 기본법」, 공간정보관리법 및 지하안전

법을 확인하여 지하시설물의 종류 및 공간정보 관리대상 시설물을 파악하였다.

공간정보 관련 법령에 따르면 석유화학산업단지에 설치된 고압가스 이송 배관 등 산업용 배관은 공간정보 관리대상 지하시설물에 포함되어 있지 아니하여 국토부 업무담당자와의 면담을 통해 산업용 배관이 공간정보 관리대상 시설물에 포함되지 아니한 사유를 파악하였고, ◁◁관리원(구 ◇◇공단) 소속 전문가 등을 면담하여 산업단지에 설치된 산업용 배관에 대한 정보관리의 필요성 등을 분석하였다.

한편, 공간정보 관련 법령에 산업용 배관에 대한 정보를 관리할 근거가 마련되어 있지 않은 상황에서 산업부는 울산광역시와 여수시에 국고를 지원하여 울산산단과 여수산단의 사외배관 DB를 각각 구축하였거나 구축하고 있다.

이와 관련하여 사외배관 DB의 정확성이 어느 정도인지 검증하기 위하여 고압가스 배관, 화학물질 배관, 위험물 배관에 대한 검사업무를 수행하는 가스안전공사, 한국환경공단, 한국산업안전보건공단, 소방서가 파악한 사외배관 자료와 지자체가 「도로법」에 따라 도로점용 허가한 자료를 활용하여 도로 하부의 산업용 배관 정보가 사외배관 DB에 적정하게 반영되었는지 확인하였다.

점검 결과, 가스안전공사의 굴착공사 정보지원시스템 운영 측면에서는 특별한 문제점을 발견할 수 없었으나 다음과 같이 국토부의 지하시설물 정보관리 제도의 문제점과 산업부가 구축하고 있는 여수산단 사외배관 DB에 일부 배관이 누락되어 있는 문제점이 발견되었다.

【실태 및 문제점】

실 태

1) 석유화학산업단지 내 지하 사외배관 굴착공사 위험관리

가) 국토부의 지하 배관 정보관리를 통한 위험관리

1994년 서울특별시 아현동에서 발생한 도시가스 폭발사고와 1995년 대구광역시 지하철 공사장에서 발생한 도시가스 폭발사고를 계기로 지하에 매설된 각종 배관에 대한 정보관리의 필요성이 대두되었다.

이에 국토부는 “제1차 국가지리정보체계구축 기본계획”에 따라 1998년부터 지자체의 지하시설물(상하수도) 전산화 사업¹⁵⁾을 추진하여 지하시설물 정보를 관리하기 시작하였다.¹⁶⁾ 그리고 ♥♥공사 등 유관기관은 자신이 설치한 전력관, 도시가스관, 통신관, 열수송관 정보를 스스로 관리하는 등 6대 지하시설물에 대한 공간정보가 관리되기 시작하였다.

그렇지만 지자체별로 각각 관리하는 상하수도관 정보와 ♥♥공사 등 유관기관이 관리하는 지하시설물 정보의 형태가 제각각이어서 기관 간 정보를 공유하기 어렵고, 활용도가 저하되는 문제가 발생하였다. 이에 국토부는 「국가공간정보 기본법」 제28조에 따라 2009년부터 지자체, ♥♥공사 등 유관기관이 각각 생산·관리하는 6대 지하시설물 정보를 받아 전국 단위 지하시설물 통합관리체계(지하시설물 통합DB)를 구축하였다.

그 후 2014년 서울특별시 송파구에서 발생한 지반침하 사고 등 지반침하

15) 상하수도관을 탐측하거나 준공도면을 이용하여 파악한 배관의 경로(經路), 심도(深度) 정보와 배관의 설치시기, 재질, 관리주체 등 속성정보를 데이터베이스로 구축하여 상하수도시설 관리시스템 등에 탑재하여 운영

16) 2021년까지 전국 85개 시(市)급 지자체와 51개 군(郡)급 지자체의 상하수도관 전산화 사업 완료

사고가 잇따르자 국토부가 지하를 안전하게 개발하고 이용할 수 있도록 지하안전법 제42조¹⁷⁾, 제43조에 따라 [그림 6]과 같이 상하수도관 등 6대 ‘지하시설물 정보(지하시설물 통합DB)’와 지하철 등 ‘지하구조물 정보’, 시추(試錐)자료 등 ‘지반 정보’를 통합한 지하공간 통합지도를 구축하고 있다.

[그림 6] 지하공간 통합지도 구성



주: 국토부가 지자체, ♥♥공사 등 유관기관으로부터 지하시설물 정보를 받아 작성된 지하시설물 통합DB는 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관과 공유

자료: 국토부 제출자료

나) 산업부와 지자체의 사외배관 DB 구축을 통한 위험관리

2021년 현재까지 공간정보관리법, 지하안전법 등에 산업용 배관에 대한 공간정보를 관리할 수 있는 법적 근거가 마련되지 않은 상태이다. 그렇지만 산업부는 석유화학산업단지 내에서 기존에 매설된 배관 정보를 모른 채 굴착 공사를 하다가 배관이 손상되어 유해물질이 누출되는 사고 등을 예방하기 위하여 2003년부터 [표 12]와 같이 국가산업단지인 울산산단과 여수산단을 관할하는 울산광역시와 여수시에 사외배관 DB를 구축하도록 예산을 각각 지원하였다.

17) 지하공간 통합지도는 2014년부터 구축을 추진하였으나 법적 근거는 2016. 1. 7. 제정된 지하안전법에 마련되었음

[표 12] 산업부의 울산산단, 여수산단 사외배관 DB 구축 지원 현황

구분	울산광역시 지하시설물 통합관리시스템	여수국가산업단지 지리정보시스템
사업기간	2003~2006년	
사업비	36억 원 ¹⁾	45억 원 ²⁾
관리대상 시설물	- 울산광역시 관할 구역 전체 지하시설물 ▶ 6대 지하시설물 ▶ 산업용 사외배관	- 여수산단 지상·지하배관 ▶ 산업용 사외배관

주: 1. 국비 50%, 지방비 30%, 입주기업 20%

2. 국비 50%, 지방비 17.5%, 입주기업 25%, 산업단지공단 7.5%

자료: 산업부, 울산광역시, 여수시 제출자료 재구성

(1) 울산광역시

울산광역시는 국고(18억 원)를 지원받아 2003년부터 2006년까지 총 36억 원을 투입하여 울산산단 사외배관 DB를 구축한 후 이를 울산광역시 지하시설물 통합관리시스템(이하 “울산광역시 GIS시스템”이라 한다)에 탑재하여 6대 지하시설물 정보와 울산산단 사외배관 DB를 통합 관리하기 시작하였다.

이후 산업부, 환경부, 국민안전처(현 소방청), 울산광역시 등은 2015년 울산산단 지하에 매설된 사외배관의 노후화로 사고가 발생할 것을 우려하여 지하배관에 대해 정밀안전진단을 하였다. 그 결과 당초 예상과 다르게 배관의 상태는 양호한 것으로 확인되었으나 울산광역시 GIS시스템에 배관 정보가 반영되지 않은 다수의 사외배관이 발견되어 사외배관 정보 누락(정확도 결여)으로 인한 사고 위험성이 더 높다고 판단하였다.¹⁸⁾

이에 울산광역시는 2016년부터 2018년까지 25억 원(국고 20억 원, 지방비 5억 원)을 추가로 투입하여 울산광역시 GIS시스템에 누락되었던 배관(연장) 464.5km에 대한 정보를 추가하였고, 그 이후로도 도로 하부에 추가로 매설되는 배관은

18) 2003년부터 울산광역시가 울산산단 사외배관 DB를 구축할 때 사업비 중 일부를 사외배관 연장에 따라 배관 관리자에게 부담하도록 하였기 때문에 입주기업이 사외배관 현황을 축소하여 제출했을 가능성이 있음

「도로법 시행규칙」 제32조에 근거하여 굴착공사 준공 시 배관설치자로부터 배관 정보를 받아 울산광역시 GIS시스템에 등록하는 방법으로 배관 정보를 현행화하여 굴착허가 등 업무에 활용하고 있다.

(2) 여수시

여수시는 국고(22.5억 원)를 지원받아 2003년부터 2006년까지 총 45억 원을 투입하여 여수산단 사외배관 DB를 구축하였다. 당시 여수시는 자체 관리하던 ‘여수시 상하수도 GIS시스템’과는 별도로 ‘여수국가산업단지 지리정보시스템’(이하 “여수산단 GIS시스템”이라 한다)을 구축¹⁹⁾하여 위 사외배관 DB를 관리하였다.

이후 여수시는 2007년 7월 산업단지공단과 협약²⁰⁾을 체결하여 여수산단 GIS시스템의 소유권만 보유하고, 해당 시스템 운영은 산업단지공단에 맡겼다.

이에 따라 산업단지공단은 당초 여수시청사(전산실)에 설치되었던 여수산단 GIS시스템 장비를 산업단지공단으로 이전한 후 2007년 12월부터 ‘사단법인 ♡♡센터’²¹⁾로 하여금 여수산단 GIS시스템을 운영하도록 하였다.

산업단지공단은 2013년부터 여수시에 장비 교체 및 프로그램 업그레이드 등을 요청하였으나 여수시는 여수산단 GIS시스템 유지관리가 산업단지공단 소관 업무라는 이유를 들어 재정지원을 하지 않았다.

이에 산업단지공단과 ♡♡센터 운영위원회는 장비 노후화 등으로 입주기업들이 부담해야 할 비용이 많아지자 2018년 2월에 ‘사단법인 ♡♡센터’의 폐쇄를 결정한 후 여수시에 이를 통보하였고, 여수시가 ‘사단법인 ♡♡센터’의 폐쇄 결

19) 여수산단 GIS시스템을 최초 구축할 때는 여수시청 전산실에 시스템 장비를 설치하였음

20) “여수국가산업단지 지리정보시스템(GIS) 운영관리 협약”

21) 여수산단 GIS시스템을 운영하기 위해 설립된 사단법인으로서 센터 운영비(연간 1.5억 원)는 여수산단 입주기업 142개 중 29개 기업이 회원사로 참여한 ‘♡♡센터 운영위원회’에서 부담

정을 수용함에 따라 45억 원을 투입하여 구축했던 여수산단 GIS시스템은 2018년 7월에 사실상 폐지되었다.

여수시가 여수산단 GIS시스템을 사실상 폐지한 후 산업부²²⁾는 국고 289.9억 원을 투입하여 2018년, 2019년에 □□과 연구용역계약을 각각 체결하고 여수산단 지상, 지하의 사외배관 DB를 3차원으로 구축하여 가스 누출 여부 등을 실시간으로 모니터링할 수 있는 “여수산단 통합안전체계 구축사업”²³⁾과 “여수산단 재난대응 통합인프라 구축사업”²⁴⁾을 진행하고 있으며, 여수시는 향후 위 시스템들을 통합운영할 계획으로 있다.

한편, 「국가공간정보 기본법」 제29조에 따르면 중앙행정기관 등이 공간정보 데이터베이스를 구축하고자 하는 경우 사업계획을 국토부에 통보하여 예산의 중복투자를 방지하고 있으나 산업부는 여수산단 사외배관 통합DB 구축사업을 추진하면서 사업계획을 국토부에 통보하지 아니하는 등 사업추진 과정에서 일부 행정상의 미비점이 발견되었다.

22) 산업부가 「산업기술혁신 촉진법」에 따라 △△관리원, ▷▷진흥원을 각각 전담기관으로 지정하였고, 전담기관이 □□와 연구용역 계약을 체결하여 2022년 준공 예정으로 사업 시행

23) 여수산단 사외배관 DB 구축 등, 사업비 51.6억 원

24) 사외배관 실시간 모니터링시스템 구축 등, 사업비 238.3억 원

문제점

가-1

산업용 배관 굴착공사 위험 대비 정보관리체계 미흡

1) 업무 개요

국토부는 공간정보의 생산 및 관리에 관한 법령과 제도를 총괄한다. 국토부는 지자체, ♥♥공사 등 유관기관으로 하여금 상하수도관 등 6대 지하시설물 정보를 관리하도록 하고 있으며, 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관이 관리하는 정보를 통합하여 [표 13]과 같이 지하시설물 통합DB로 구축하여 도로 굴착허가 업무나 지하의 개발·이용·관리 등 업무에 활용하도록 하고 있다.

[표 13] 전국 6대 지하시설물 현황(2021년 말)

(단위: km)

구분	합계	상수도	하수도	전력관	통신관	도시가스관	열수송관 (난방)
연장	484,400	137,490	129,333	28,830	117,662	63,146	7,939

자료: 국토부(지하시설물 통합DB)

산업부는 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제30조에 따른 국가산업단지의 관리권자로서 2018년부터 529억여 원을 투입하여 여수산단 사외배관 DB 구축 등 각종 안전관리체계 구축 사업을 시행하고 있다.

2) 국토부의 굴착공사 위험 대비 산업용 배관 정보관리체계 미구축

가) 관계 법령 및 판단기준

배관설치자가 석유화학산업단지에서 배관을 추가로 매설하기 위해 굴착공사를 시행할 때 기존에 매설된 배관의 정확한 위치를 모른 채 공사를 진행할 경우 기존에 매설된 배관을 손상시킬 위험성이 매우 높다.

국토부가 2015년 지반침하를 예방하기 위해 실시한 연구용역²⁵⁾에 따르면 전력·가스 등 소형 배관의 경우 작업공간이 협소하여 되메우기가 제대로 되지 않아 공동(空洞)에 의한 지반침하가 일어날 수 있고, 이때 주변에 매설된 배관이 손상되어 고압가스, 유독물, 위험물이 누출될 경우 큰 사고로 이어질 수 있으므로 이에 대한 관리의 필요성이 있다.

지하안전법 제14조, 제23조 등에 따르면 깊이 10m 이상의 굴착이 수반되는 도시개발사업 등을 실시할 때에는 지하안전평가(소규모 지하안전평가 포함, 이하 같다)²⁶⁾를 하여야 하고, 지하안전법 시행령 제16조 관련 [별표 3]에 따르면 지하공간 통합지도를 활용하여 굴착공사가 지반안전성과 주변 시설물에 미치는 영향을 분석하도록 되어 있다.

국토부가 2020. 12. 8. 지하안전법 시행령을 개정할 때 지하에 매설된 송유관에 대한 안전관리를 강화하기 위하여 이전까지는 배관 정보 관리대상에 포함하지 않았던 송유관 정보를 지하공간 통합지도에 반영하도록 조치한 사례가 있다.²⁷⁾

지자체(도로과)는 석유화학산업단지 도로 하부에 배관을 매설하기 위한 굴착허가 여부를 검토할 때 지하시설물 통합DB 등을 활용하여 굴착공사 지점에 지하 배관이 있는지 확인하고 있다. 따라서 6대 지하시설물 정보뿐만 아니라 산업용 배관 정보도 지하시설물 통합DB 등에 반영하여 관리할 필요가 있다.

25) “지하지반침하 대비 생활속 징후 및 안전관리 매뉴얼 개발 연구용역”(2015. 10. 26.)

26) 지하안전에 영향을 미칠 수 있는 사업의 실시계획·시행계획 등의 허가·인가·승인·면허·결정 또는 수리 등을 할 때 해당 사업이 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것(지하안전법 제2조 제5호)

27) 국토부는 송유관 정보까지 포함하여 7대 지하시설물 정보를 관리하고자 하였으나 송유관의 경우 도유(盜油) 등의 문제 발생 우려가 있어 송유관 관리자가 정보를 공유하지 않다가 2020년 지하안전법 시행령 개정으로 지하공간 통합지도에 송유관 정보를 포함

한편, 산업용 배관이 사도에 매설된 경우라도 지자체는 「재난 및 안전관리 기본법」상 재난관리책임기관으로서 지자체 GIS시스템 등에 사외배관 정보가 등록되어 있어야만 굴착공사 중에 사외배관이 손상되거나 배관이 부식되어 유해물질이 누출되는 사고가 발생했을 때 신속한 대응 및 피해 복구를 할 수 있다.

따라서 국토부는 산업용 사외배관을 공간정보관리법과 지하안전법상 지하시설물로 지정함으로써 배관설치자가 배관 정보를 지자체나 국토부에 제출하도록 조치하여 지자체 등이 산업용 배관 정보를 체계적으로 관리하면서 굴착허가, 재난 대응 등의 업무에 활용하도록 할 필요가 있다.

나) 감사결과 확인된 문제점

국토부는 2021년 11월 감사일 현재 공간정보관리법 등에 산업용 배관을 정보관리대상 지하시설물로 지정하지 아니하여 지자체 등이 산업용 배관에 대한 정보를 관리할 법적 근거가 없는 상태이다.

이에 국내 3대 석유화학산업단지가 입주해 있는 지역을 관할하는 울산광역시, 여수시, 서산시가 산업용 배관에 대한 정보를 어떻게 관리하는지를 점검하였다.

울산광역시는 울산광역시 GIS시스템에 산업용 배관 정보를 등록하여 관리하기 위해 노력하고 있으나 울산산단 내 사도 구간(13km, 울산산단 입주기업 소유)²⁸⁾의 경우 「도로법」 적용을 받지 않기 때문에 배관설치자가 사도 하부에 배관을 신규로 매설하더라도 배관 정보를 제출할 의무가 없어 배관설치자가 배관 정보 중 일부를 울산광역시에 제출하지 아니함에 따라 [표 14]와 같이 ↔주식회사가 2014년에 매설한 파라자일렌²⁹⁾ 이송 배관 등 5개 배관에 대한 정보가 울산광역시 GIS시스템에 누락되어 있었다.

28) 고압가스 배관 등 531km의 배관이 지하에 매설(폭 25m 도로에 52개 배관 설치)되어 있음

29) 유해화학물질(유독물질)로서 눈, 피부, 점막에 자극적이며 화상을 입거나 접촉 시 피부염을 일으킬 수 있음

[표 14] 울산산단 사외배관 누락 현황^{주)}

(단위: m)

연번	업체명	설치연도	이송물질	배관 길이
1	☞☞(주)	2014년	파라자일렌(para xylene)	750
2	☆☆(주)	2018년	질소(N2)	14.3
3	☆☆(주)	2017년	질소(N2)	84.5
4	●●(주)	2017년	에틸렌(ethylene)	93.5
5	●●(주)	2019년	질소(N2)	15

주: 울산산단 입주기업협의회가 관리하는 지하 배관 리스트(도면) 중 울산광역시 GIS시스템에 배관 정보가 반영되지 아니한 10개 배관을 확인하여 배관관리자에게 배관 정보 누락 사유를 파악하기 위한 시도를 하였으나 ☞☞(주) 등 3개 업체만 자료를 제출

자료: 울산산단 입주기업 제출자료 재구성

여수시는 2006년 여수산단 GIS시스템 구축 이후 도로 하부에 배관을 매설하고자 하는 배관설치자에게 「도로법」 제61조에 따라 굴착허가를 하면서 신규 배관 정보를 여수산단 GIS시스템에 등록하도록 하는 조건을 부가하고도 굴착공사를 준공할 때는 배관설치자가 신규 배관 정보를 여수산단 GIS시스템에 등록하였는지 확인하지 않는 등 배관 정보를 현행화하기 위한 노력을 하지 않았다.³⁰⁾

이에 여수산단 GIS시스템에 탑재된 사외배관 DB는 누락된 배관 정보가 많아 활용도가 낮아져(정확도 결여) 앞의 '1) 나) (2)항'에서 언급한 바와 같이 여수산단 GIS시스템이 폐지되는 주요한 원인으로 작용하였다.

서산시는 상하수도관 등 6대 지하시설물 정보만 관리할 뿐 산업용 배관 정보를 관리하지 않고 있었다. 이처럼 산업용 배관 정보를 지자체별로 통일성 없이³¹⁾ 각각 관리하고 있었다.

30) 여수시가 배관설치자에게 굴착허가를 하면서 신규 배관 정보를 여수산단 GIS시스템에 등록하도록 조건을 부가하고도 굴착공사를 준공처리할 때 신규 배관 정보를 여수산단 GIS시스템에 등록하였는지 확인하지 아니한 사항에 대하여 현지조치(주의)하였음

31) 지하 배관 정보가 없더라도 배관설치자가 「도로법」 제62조 제5항 등에 따라 기존에 매설된 배관 관리자와 협의하는 등으로 배관 위치를 파악한 후 공사를 진행하여 기존에 매설한 배관이 손상되지 않도록 조치하고, 가스 배관인 경우 고압가스법 제23조의3 등에 따라 배관설치자가 굴착공사를 시행하기 전에 가스안전공사가 운영하는 '굴착공사 정보지원센터'에 신고(굴착공사 구간 및 배관위치 표시)한 후 공사를 진행함으로써 큰 사고는 발생

더욱이 일부 지자체의 산업용 배관 정보도 현행 법령상 국토부가 관리하는 지하시설물 통합DB나 지하공간 통합지도에 반영하도록 되어 있지 아니하여³²⁾ 지하안전평가 등의 업무에 활용되지 못하는 문제점이 확인되었다.

3) 산업부가 배관 설치 현황 확보방안을 마련하지 않은 채 지하 사외배관 DB 구축 가) 관계 법령 및 판단기준

산업부는 여수산단 GIS시스템 폐지 이후 여수산단 사외배관에서 발생할 수 있는 대규모 안전사고에 대한 선제적 대응 기반을 마련하고자 [표 15]와 같이 2018년 10월, 2019년 11월 등 두 차례에 걸쳐 □□와 계약을 맺고, 289.9억여 원을 투입하여 [그림 7]과 같이 여수산단 지상·지하 사외배관(파이프랙 포함) DB를 3차원으로 구축하고, 3차원으로 구축된 사외배관 DB를 기반으로 재난·안전모니터링 시스템을 구축하고 있다.³³⁾

[표 15] 여수산단 사외배관 DB(3차원) 구축 및 시스템 개발사업 현황

(단위: 백만 원)

구분	1단계	2단계
	여수 석유화학산단 통합안전체계 구축사업	여수산단 재난대응 통합 인프라 구축사업
사업기간	2018. 10. 1.~2022. 12. 31.	2019. 11. 1.~2023. 12. 31
사업비	5,165	23,827
사업기관	산업부	산업부
전담기관 ^{주)}	△△관리원	▷▷진흥원
용역 주관기관	□□	□□
사업내용 및 연계 활용	여수산단 사외배관 DB(3차원) 구축 등	여수산단 사외배관 DB(3차원)를 활용하여 재난·안전모니터링 시스템 구축 등

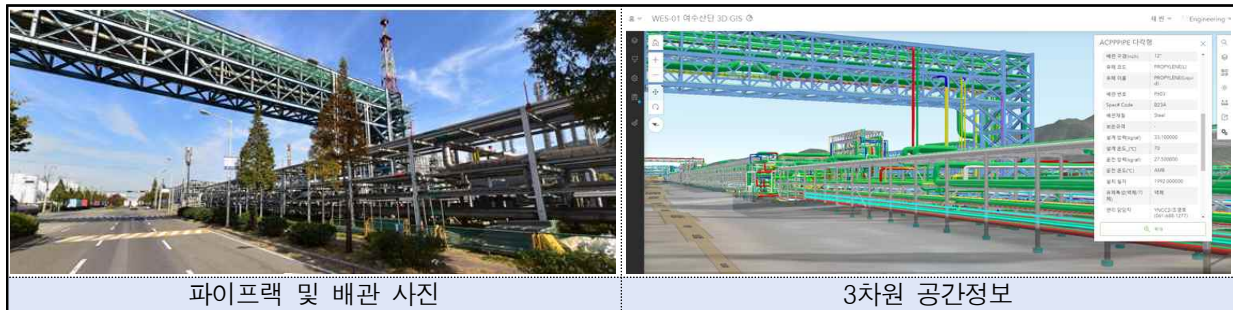
주: 「산업기술혁신 촉진법」 제38조 및 제39조에 따라 산업기술혁신사업의 기획·관리, 평가 등을 담당하는 전담기관
자료: 산업부 제출자료 재구성

하지 않은 것으로 파악됨

32) 지하시설물 통합DB는 지자체와 ♥♥공사 등 유관기관이 관리하는 6대 지하시설물 정보만 통합·관리하면서 해당 정보를 지하공간 통합지도와 연계하고 있음

33) “여수 석유화학산단 통합안전체계 구축사업” 등을 시행하여 여수산단 사외배관 DB(3차원)가 구축되면 여수시가 해당 자료를 연계·활용하여 ‘여수산단 디지털 환경·안전 통합관제센터’를 구축하여 운영할 계획임

[그림 7] 여수산단 사외배관 DB



자료: 산업부 제출자료

그런데 지상에 설치된 노출 배관은 실측을 통해 DB 구축이 가능하지만 지하에 매설된 배관은 배관의 경로나 심도 등을 육안으로 확인하기 곤란하므로 배관관리자로부터 지하 배관 설치 현황 등 기초자료를 입수해야만 [그림 8]과 같이 현장에서 탐사, 측량 등 후속 작업이 가능하다.

[그림 8] 지하시설물 조사, 탐사, 측량 수행절차



자료: 울산광역시 제출자료

그러나 현행 공간정보관리법과 지하안전법 등으로는 산업용 배관의 경우 정부나 지자체가 배관관리자에게 배관 정보를 제출하도록 요구할 근거가 없기 때문에 배관관리자가 지하 배관 설치 현황 등 기초자료를 제출하지 않을 가능성이 있고, 기초자료를 확보하지 못한 채 사외배관 DB 구축을 시도할 경우, 사외배관 DB에 누락된 배관이 많아져 활용성이 저하되는 등으로 사외배관 DB 구축 목적을 달성하지 못할 우려가 있다.

따라서 산업부가 여수산단 사외배관 DB(3차원) 구축사업을 시행할 때는 여수산단 입주기업으로부터 지하 사외배관 설치 현황 등 기초자료를 확보할 수 있는 방안을 마련한 후 사업을 추진하도록 하여야 했다.

나) 감사결과 확인된 문제점

이번 감사 시 산업부가 2018년 □□와 연구용역 계약을 체결하여 구축하고 있는 여수산단 사외배관 DB의 적정성을 점검해 본 결과, 산업부가 여수산단 사외배관 DB(3차원) 구축사업을 시행할 때 입주기업의 지하 사외배관 설치 현황 등 기초자료를 확보할 방안을 마련하지 않은 채로 사업을 진행하였다.

용역수행 과정에서 □□는 여수산단 내 지하에 설치된 사외배관 DB(3차원) 구축을 위해 입주기업에 지하 배관 설치 현황을 요청³⁴⁾하였으나 입주기업들은 사외배관 정보를 제출할 근거 규정이 없다는 등의 사유로 지하 배관 설치 현황을 제출하지 아니하였다. 결국, □□는 전체 사외배관 중 약 56%가 누락된 것으로 추정되는 기존 여수산단 사외배관 DB만을 활용하여 지하 사외배관 DB(3차원)를 구축하였다.

이에 이번 감사기간 동안 여수시의 굴착허가 사항과 고압가스 배관 전문검사 기관인 가스안전공사가 파악하고 있는 고압가스 사외배관 현황을 활용하여 여수산단 사외배관 DB 구축(2006년) 이후 신규로 설치된 배관 정보가 여수산단 사외배관 DB(3차원)에 반영되어 있는지를 확인해 본 결과, [별표] “2007년 이후 여수산단 내 도로점용(굴착) 허가 및 정보관리 현황”과 같이 주식회사 ■■■이 2009년 설치한 수소배관 등 19개 배관(연장 27,198m)에 대한 정보가 여수산단 사외배관 DB(3차원)에 누락되어 있었다.

34) 실제로는 □□가 전체 사외배관 중 약 56%가 누락된 것으로 추정되는 기존 여수산단 사외배관 DB를 여수산단 입주기업에 보내주면서, DB에 누락되어 있는 배관 정보를 제출하도록 요청

관계기관 의견

국토부는 감사결과를 이견 없이 수용하면서, 앞으로 고압가스, 위험물, 화학물질 등을 이송하는 산업용 배관에 대한 정보를 관리하여 지하 개발 등의 과정에서 활용할 수 있도록 지하시설물 범위에 지하에 매설된 산업용 배관을 추가하는 내용으로 지하안전법 시행령 개정을 추진하겠다는 의견을 제시하였다.

울산광역시도 감사결과를 이견 없이 수용하면서, 감사과정에서 사도 구간에 매설된 배관 중 일부가 울산광역시 GIS시스템에 반영되지 않은 것이 확인된 만큼 배관설치자에게 누락된 배관에 대한 공간정보를 제출하도록 하여 관리하겠다는 의견을 제시하였다.

산업부도 이번 감사결과를 이견 없이 수용하면서 여수산단 사외배관 DB(3차원)에 누락되는 배관 정보가 없도록 모든 배관을 등록할 필요성이 있어 앞으로 여수시 등 관계기관과 협의하여 추가 조사작업 등의 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항

국토교통부장관은

(‘2)’항과 관련하여) 「고압가스 안전관리법」에 따른 고압가스 이송 배관, 「화학물질관리법」에 따른 화학물질 이송 배관, 「위험물안전관리법」에 따른 위험물 이송 배관을 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」과 「지하안전관리에 관한 특별법」상 지하시설물에 포함시켜 배관 정보를 관리하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

울산광역시장은

(‘2)’항과 관련하여) 울산석유화학산업단지 내 사도(私道) 구간에 매설된 지하 배관 중 울산광역시 지하시설물 통합정보시스템에 배관 정보가 반영되지 않은 ↔주식회사 소유의 파라자일렌 이송 배관 등 5개 배관에 대해 배관관리자로 부터 배관 정보를 제출받을 수 있는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

산업통상자원부장관은

(‘3)’항과 관련하여) 여수시 및 입주기업 등과 협의하여 누락된 지하 배관 현황을 확보하여 여수산단 사외배관 데이터베이스를 보완하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

중점

사외배관 설치 및 검사기준에 안전사고 예방대책이 마련되어 있는가?

【감사초점 및 판단기준】

사외배관 중 지상 배관은 파이프랙 위에 설치되어 있고, 파이프랙은 부지 확보 곤란 등을 이유로 대부분 도로변에 설치되어 있기 때문에 화물차가 도로를 이탈하여 배관과 충돌하면 배관이 손상될 위험성이 있다. 사외배관 중 지하 배관은 흙 속의 수분과 접하여 부식될 가능성이 있다. 따라서 지상에 설치된 사외배관은 차량 충돌로 인한 배관의 손상을 방지할 수 있는 방호설비의 설치가 중요하고, 지하에 매설된 배관은 부식 방지대책 수립이 중요하다.

한편, 석유화학산업단지에서 많이 사용되는 대부분의 가연성가스는 배관 안에서 화재가 발생할 수 없으나 산소 배관의 경우에는 배관이 손상되지 않더라도 배관 내부에서 화재가 발생할 가능성이 있어 화재 예방대책이 필요하다.

이에 따라 이번 감사에서는 [표 16]의 판단기준과 같이 지상 배관에 대한 방호시설, 지하 배관의 부식 방지대책, 산소 배관의 화재 예방대책이 적절하게 마련되어 있는지를 중점 검토하였다.

[표 16] 사외배관 설치 및 검사기준의 적정성 판단기준

감사초점	판단기준
사외배관 안전사고 예방을 위한 배관 설치기준, 검사기준의 적정성	▪(판단기준 1) 지상에 노출 설치된 배관이 차량 충돌 등 외부 위협으로부터 안전하게 보호될 수 있어야 한다. ▪(판단기준 2) 지하에 매설된 배관이 부식 환경에 노출되지 않도록 적절한 조치와 관리가 이루어져야 한다. ▪(판단기준 3) 배관 내부에서도 화재가 발생할 수 있는 산소 배관에 대한 화재 예방대책이 갖추어져 있어야 한다.

【감사 접근방법】

감사원은 석유화학산업단지에 설치된 산업용 배관에서 발생한 배관 손상사고 사례를 수집하고, 경찰청, 소방서, 가스안전공사, 한국환경공단 등이 조사한 사고 원인을 토대로 산업용 배관 설치기준 및 검사기준의 미비점을 도출하였다.

산업용 배관은 이송 물질만 다를 뿐 지하에 매설되거나 지상에 노출 설치되는 등 설치 환경이 대체로 비슷하므로 고압가스법, 「화학물질관리법」, 위험물관리법 등의 배관 설치기준과 검사기준을 서로 비교하여 취약요인을 발굴한 후 이를 보완하기 위해 관련 학회, 대학교 교수 등 전문가에게 자문하여 안전사고 예방 대책을 검토하였다.

또한, 산업부가 국가산업단지인 울산산단과 여수산단에 설치된 사외배관의 안전관리를 강화하기 위해 실시한 지하 배관 안전진단 보고서 등을 검토하여 산업용 배관의 관리상 문제점을 도출하였다.

【실태 및 문제점】

실태

산업부, 환경부, 소방청은 산업용 배관의 안전한 설치, 관리 및 사용을 위해 [표 17]과 같이 고압가스법, 「화학물질관리법」, 위험물관리법 등에 배관의 설치 및 관리에 관한 세부 규정을 마련하여 운영하고 있으며, 배관 설치단계, 배관 사용 단계에 따라 배관관리자가 전문검사기관으로부터 완성검사와 정기검사를 받도록 하는 등 배관 설치기준 적합 여부를 확인하여 안전을 확보하고 있다.

[표 17] 산업용 배관 관련 법령

이송물질	관련 법률	상세기준
고압가스	고압가스법 제4조	- 고압가스법, 고압가스 시설 설치 및 검사기준 - 고압가스 배관 보호 기준
화학물질	「화학물질관리법」 제24조	- 유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시 - 유해화학물질 취급시설 검사 및 진단 규정
위험물	위험물관리법 제5조	- 위험물관리법 시행규칙 제28조(제조소의 기준) - 위험물관리법 시행규칙 제39조(이송취급소의 기준)

자료: 관련 법령 재구성

1) 배관 설치단계

고압가스 이송 배관을 설치하려는 자는 배관 설치계획에 대해서는 가스안전공사의 기술검토를 거쳐 지자체로부터 배관 설치 허가를 받아야 하고, 배관 설치공사 중에는 가스안전공사의 시공감리와 중간검사를 받고 있으며, 배관 설치공사가 마무리되면 가스안전공사로부터 완성검사를 받아 배관을 사용하고 있다.

화학물질 이송 배관을 설치하려는 자는 화학사고예방관리계획서를 환경부(화학물질안전원)에 제출하여 적합 통보를 받은 후 배관을 설치하여 전문검사기관(한국환경공단, 가스안전공사, 한국산업안전보건공단)으로부터 설치검사를 받고 있으며, 환경부(지방·유역환경청)의 영업허가를 받아 배관을 사용하고 있다.

위험물 이송 배관도 고압가스나 화학물질 이송 배관과 비슷하게 한국소방산업기술의 기술검토, 지자체의 허가 및 완공검사가 끝나야 사용할 수 있다.

2) 배관 사용단계

배관을 사용하는 중에는 배관관리자가 [표 18]과 같이 정기검사, 수시검사, 정밀안전진단 등을 이행³⁵⁾하고 있으며, 추가적으로 소방서는 「소방기본법」 제13조에 따라 산업단지를 ‘화재경계지구’로 지정하여 매년 위험물 제조소를 대상으로 ‘소방특별조사’를 하는 등으로 관리하고 있다.

35) 일부 물질은 유해화학물질이면서 위험물에 해당하여 「화학물질관리법」과 위험물관리법을 중복 적용

[표 18] 배관 종류별 정기검사 및 정밀안전진단 주기

이송물질	정기검사	수시검사	정밀안전진단	검사기관
고압가스	특정제조시설 4년 일반제조시설 1년, 2년 ¹⁾	사고 예방을 위하여 필요하다고 인정되는 경우	완성검사 후 15년 경과 시 4년마다	가스안전공사 한국산업안전보건공단 ²⁾
화학물질	영업허가자 1년 영업허가 면제자 2년	화학사고가 발생한 경우	가 위험도: 4년 ³⁾ 나 위험도: 8년 다 위험도: 12년	한국환경공단 가스안전공사 한국산업안전보건공단
위험물	1년	-	완공검사 후 4년, 12년 ⁴⁾	제조소 한국소방산업기술원

- 주: 1. 고압가스 일반제조시설 중 가연성가스, 독성가스, 산소 제조시설은 1년, 불연성가스 제조시설은 2년
 2. 고압가스 배관에 대한 정기검사, 수시검사는 가스안전공사가, 정밀안전진단은 가스안전공사, 한국산업안전보건공단이 실시
 3. 환경부(화학물질안전원)가 화학사고예방관리계획서를 평가하여 위험도 분류
 4. 중간정기검사는 완공검사 또는 정밀정기검사 후 4년, 정밀정기검사는 완공검사 후 12년에 실시
- 자료: 관련 법령 재구성

문제점

나-1

석유화학산업단지 지상 사외배관 방호설비 성능기준 미비

1) 업무 개요

산업부, 환경부, 소방청(이하 “산업부 등”이라 한다)은 [표 19]와 같이 고압가스법 등에 따라 산업단지 내 입주기업들이 공장 가동에 필요한 고압가스 등을 이송하는 산업용 배관의 설치 및 안전관리에 관한 규정을 마련하여 운용하고 있다.

[표 19] 이송물질별 소관 중앙부처 및 관련 법령

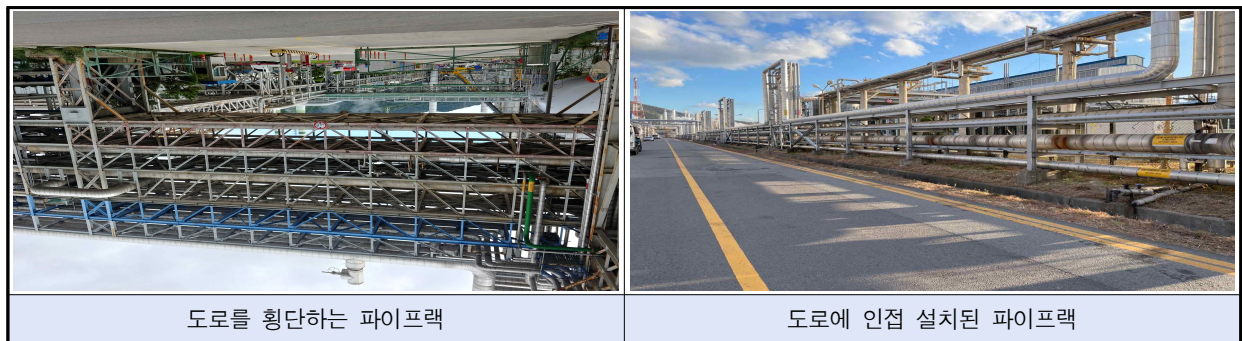
이송물질	관계기관	관련 법령
고압가스	산업부	고압가스법, 고압가스 시설 설치 및 검사기준
열수송관(증기)		「집단에너지사업법」, 「집단에너지시설의 기술기준」
화학물질	환경부	유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시
위험물	소방청	위험물관리법

자료: 관련 법령 재구성

2) 관계 법령 및 판단기준

산업단지에 설치되는 산업용 배관은 입주기업의 사업소 울타리 안팎에 설치되어 있으며, 사업소 울타리 밖에 설치된 사외배관은 도로 하부 등 지하에 매설하거나 [사진 2]와 같이 파이프랙을 도로에 인접하게 설치한 후 그 위에 배관을 설치하고 있다.³⁶⁾

[사진 2] 파이프랙에 설치된 지상 배관 전경(여수산단)



도로를 횡단하는 파이프랙

도로에 인접 설치된 파이프랙

자료: 감사원 현장점검 자료

그런데 산업단지의 특성상 도로에는 화물차(총중량 30톤 이상)의 통행이 빈번³⁷⁾하고, [표 20]과 같이 울산산단과 여수산단 내에서 화물차에 의한 교통사고가 매년 꾸준히 발생³⁸⁾하고 있어 도로에 인접 설치된 지상 배관은 [사진 3]과 같이 차량 충돌로 인한 배관 파손 등 2차 사고 발생 가능성에 항상 노출되어 있다.

[표 20] 석유화학산업단지 연도별 화물차 교통사고 건수

(단위: 건)

산업단지	화물차 교통사고 건수			
	합계	2018년	2019년	2020년
울산산단	64	21	22	21
여수산단	140	32	50	58

자료: 한국교통안전공단 제출자료

36) [사진 2]와 같이 파이프랙에는 고압가스 배관, 화학물질 배관, 위험물 배관이 다수 혼재되어 있음

37) 「물류정책기본법」 제29조 제2항 제3호에 따른 “위험물질운송안전관리시스템”에 등록된 운행계획서 분석 결과, 2021년 8월부터 같은 해 11월까지 3개월 동안 여수산단 통행 차량 1,056대 중 264대(25%), 울산산단 통행 차량 11,641대 중 9,081대(78%)가 30톤 이상이고, 여수산단 통행 화물차 평균 중량은 31톤, 울산산단 통행 평균 중량은 39톤임

38) 「교통안전법」 제52조 등에 따라 구축된 교통사고분석시스템(TAAS)에서 추출한 자료

[사진 3] 화물차가 주행 중 도로를 이탈한 사례



화물차가 빗길에 미끄러지면서 도로를 이탈

주: 여수산단 내 도로를 주행하던 25톤 화물차가 도로를 이탈하여 방호설비 파손(2021. 8. 21.)

자료: 감사대상기관 제출자료

더구나, 파이프랙에는 고압가스, 화학물질, 위험물 이송 배관과 열수송관이 뒤섞여 설치되어 있어 차량이 파이프랙과 충돌하여 배관이 파손될 경우 배관 내에 흐르던 고압가스와 유해물질이 한꺼번에 누출되어 화재나 폭발 등 대형 사고로 번질 가능성이 있다.

이에 산업부 등은 [표 21]과 같이 산업용 배관³⁹⁾을 지상에 설치하는 경우 자동차 등의 충돌로 배관 또는 배관 지지구조물이 손상되지 않도록 단단하고 내구력 있는 방호설비를 설치하도록 규정하였다.

[표 21] 산업용 배관 등을 보호하기 위한 방호설비 설치에 관한 기준

이송물질	관련 규정	방호설비 설치 기준
고압가스	고압가스 시설 설치 및 검사기준(2021. 10. 8., 산업부 공고 제2021-699호)	고압가스 배관을 지상에 설치하는 경우 자동차 등의 충돌로 배관 또는 그 지지물(파이프랙)이 손상될 우려가 있을 때 단단하고 내구력 있는 방호설비를 설치
열수송관	「집단에너지시설의 기술기준」(2019. 1. 28., 산업부 고시) 제34조 제2호	외부로부터 심한 기계적 충격을 받을 수 있는 열수송관에는 적절한 보호장치(방호설비)를 설치
화학물질	유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시(2020. 12. 22., 화학물질안전원 고시 제2020-12호)	화학물질 배관을 지상에 설치하는 경우 차량 등의 충돌로 배관 또는 그 지지물이 손상될 우려가 있을 때 단단하고 내구성 있는 보호설비를 설치
위험물	「위험물안전관리법 시행규칙」 제39조 [별표 15]	위험물 배관을 지상에 설치하는 경우 자동차 등의 충돌로 배관 또는 그 지지물이 손상될 우려가 있을 때 견고하고 내구성이 있는 보호설비를 설치

자료: 관련 규정 재구성

39) 산업용 배관은 이송물질에 따라 고압가스, 위험물, 화학물질 이송 배관, 열수송관 등으로 구분하고 열수송관에 흐르는 물질은 증기로서 공중에 유해한 물질은 아니지만 2018. 9. 13. 발생한 사고(울산광역시 남구 에서 지하에 매설된 열수송관이 폭발하여 도로 시설과 차량이 파손되었음)와 같이 외부 충격 등에 의해 폭발할 우려가 있고, 파이프랙의 특성상 열수송관은 고압가스 배관 등과 같이 설치되어 있어 열수송관의 폭발로 타 배관의 손상·폭발 등을 일으킬 우려가 있음

방호설비는 외부에서 오는 충격으로부터 방호대상시설물(배관)을 보호하기 위한 것으로 효과적인 방호를 위해 위협이 되는 물체의 충돌하중(설계하중)⁴⁰⁾ 등을 산정하여 이를 견딜 수 있도록 방호설비의 성능을 정하는 것이 중요하다.

예컨대, 국토부는 교량을 설계할 때 위협이 되는 물체(선박 및 자동차 등)로부터 시설물(교각 등)을 보호하기 위해 「도로교 설계기준(한계상태설계법)」(국토부 공고 제2012-61호, 2015. 1. 1.)에 따라 선박 등의 충돌하중⁴¹⁾을 산정하여 이를 견딜 수 있는 방호공(방호설비)을 설치하도록 하고 있다.

따라서 산업부 등은 도로에 인접하여 설치된 산업용 배관을 차량 충돌로부터 효과적으로 보호하기 위해서 차량의 충돌하중을 고려한 방호설비의 성능에 대한 기준을 마련하는 것이 바람직하다.

3) 감사결과 확인된 문제점

산업부 등은 지상 배관을 보호하기 위해 앞의 [표 21]과 같이 내구력 있는 방호설비를 설치하라고만 규정할 뿐 해당 설비에 요구되는 방호성능에 관한 구체적인 기준은 마련하지 않고 있어 입주기업이 파이프랙을 설치할 때 차량의 충돌하중 등을 고려한 방호설비의 성능에 대한 검토 없이 방호설비를 설치하고 있었다.

이에 이번 감사기간(2021. 11. 29.~12. 17.) 동안 여수산단 내 파이프랙(48km)에서 방호설비가 설치된 13km 중 5.2km⁴²⁾ 구간을 표본으로 선정하여 점검하였다. 그 결과, 위 파이프랙 5.2km 구간에는 고인화성 물질로 차량 충돌 시 발생하는

40) 물체의 운동에너지로 물체의 중량, 속도 등을 고려하여 산정[$\frac{1}{2} \times (\text{중량}) \times (\text{속도})^2$]

41) 선박의 충돌속도, 용적톤수 등으로 충돌에너지 산정

42) ▲▲주식회사 제1문 인근 파이프랙 약 3.2km, 주식회사 ▶▶ VCM공장 인근 파이프랙 약 1.2km, 주식회사 ▼▼ 인근 파이프랙 약 0.8km

열과 스파크에 의해 쉽게 점화되는 메틸알코올⁴³⁾, 염화비닐모노머⁴⁴⁾ 및 액화석유가스⁴⁵⁾ 등의 위험물 배관(연장 40km)⁴⁶⁾, 고압가스 배관(연장 10.5km)⁴⁷⁾ 등 위험물질 이송 배관 73.1km⁴⁸⁾가 설치되어 있는데도 배관을 보호하기 위한 방호설비로는 [사진 4]와 같이 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률 시행규칙」 제5조 제1항 제5호 등⁴⁹⁾에 따라 불법주차를 예방하기 위한 용도로 사용되는 시설(블라드)⁵⁰⁾ 등 차량 충돌로부터 배관을 보호하기 위한 것이라고 보기 어려운 구조물이 설치되어 있었다.

[사진 4] 방호설비 설치 모습



주: 왼쪽부터 첫 번째, 두 번째는 'I'형 블라드, 세 번째는 [사진 3]의 사고 사례에 설치된 방호설비
 자료: 감사원 현장점검 자료 재구성

참고로, 2016년 12월 ◀◀학회에서 발행한 “충돌해석을 통한 블라드의 성능 평가 및 설치기준 제안” 연구자료에 따르면 [사진 4]와 같이 설치된 'I'형 블라드의 방호성능(흡수 가능한 에너지)은 약 24KJ⁵¹⁾로 산업단지 내에서 통행이 빈번한 30

43) 제4류 인화성액체의 알코올류, 실내외 또는 하수구에서 증기 폭발의 위험이 있고, 위험물질이면서 유해화학물질 (누출 시 피부를 통해 흡수되고 고농도는 중추신경계 기능 저하 등의 인체 유해성을 가짐)
 44) Vinyl Chloride Monomer: 고압가스이면서 「화학물질관리법」상 유독물질 및 사고대비물질로 분류되고, 동상을 일으킬 수 있으며, 고농도의 경우 무감각증, 폐염증 등을 일으킬 수 있음
 45) LPG(Liquefied petroleum gas): 극도로 가연성이며 누출 시 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성
 46) 메틸알코올 이송 배관 3.4km, 프로판가스 이송 배관 1.3km 등
 47) 염화비닐모노머 1.9km, 암모니아 가스 1.9km, 프로판가스 1.3km, 액화석유가스 0.4km 및 부탄가스 0.3km 등
 48) 위험물 이송 배관 40km, 고압가스 이송 배관 10.5km, 화학물질 이송 배관 17km, 열수송관(증기) 5.6km
 49) 「교통약자의 이동편의 증진법 시행규칙」 제9조 [별표 2] “보행안전시설물의 구조 시설기준”, 「보도 설치 및 관리 지침」(국토부 예규 제321호)에 따른 자동차 진입 억제용 말뚝
 50) 차도와 인도 사이에 설치하며 주목적은 보행자가 안전하고 편리하게 통행하는 데 방해가 되지 않는 범위 내에서 설치하는 보행안전시설물로 속도가 낮은 차량의 충격에 견딜 수 있는 구조로 설치되게 할 뿐 방호성능 (에너지)에 대한 구체적인 기준은 규정되어 있지 않음

톤 중량의 화물차가 30km/h의 속도로 충돌할 때 발생하는 1,041KJ⁵²⁾보다 적은 것으로 확인되었다.

그 결과 차량 충돌 시 산업용 배관을 효과적으로 보호하지 못함으로써 배관 내에 있던 위험물질 등의 누출로 화재, 폭발 및 환경오염 등의 안전사고가 발생할 우려가 있다.

관계기관 의견 산업부, 환경부, 소방청은 감사결과를 이견 없이 받아들이면서 고압가스 이송 배관, 열수송관, 화학물질 이송 배관 및 위험물 이송 배관을 보호하기 위한 방호설비의 성능에 대한 구체적인 기준을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.⁵³⁾

조치할 사항 산업통상자원부장관, 환경부장관, 소방청장은 지상에 설치된 사업소 외의 고압가스 이송 배관, 열수송관, 화학물질 이송 배관 및 위험물 이송 배관을 차량 충돌로부터 효과적으로 보호하기 위해 차량의 충돌하중 등을 고려한 방호설비의 성능에 대한 기준을 마련하시기 바랍니다.(통보)

51) 「교통약자의 이동편의 증진법 시행규칙」 제9조에 따른 직경 200mm, 높이 1m 블라드(T형)의 흡수가능한 에너지는 2.4kgf-m(10³)로 이를 KJ로 환산하면 약 24KJ임

52) $1,041\text{KJ} = \frac{1}{2} \times (30) \times (30/3.6)^2$ (단위 환산을 위해 중량은 '톤', 속도는 'km/h/3.6' 적용)

53) 산업부는 여수 국가산업단지 관리권자로서 여주시 및 입주기업들과의 협의를 통해 방호성능이 미흡한 시설을 개선하여 산업단지 내 안전이 확보될 수 있도록 조치하겠다는 의견을 제시

1) 업무 개요

환경부는 「화학물질관리법」 제24조, 유해화학물질 취급시설 검사 및 진단 규정(환경부 고시 제2019-157호), 유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시(화학물질안전원 고시 제2020-12호)에 유해화학물질을 이송하는 사외배관의 설치 및 검사 등에 관한 사항을 정하여 운용하고 있다.

2) 관계 법령 및 판단기준

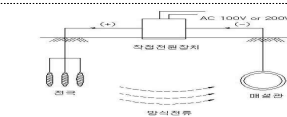
유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시 [별표 1] “유해화학물질 사외배관 이송시설 설치 및 관리에 관한 세부기준”에 따르면 [표 22]와 같이 지하에 매설하는 배관은 내구성이 있고 전기 절연저항이 큰 도복장(塗覆裝) 재료⁵⁴⁾를 사용하여 외면부식(腐蝕)을 방지하고, 방식전위가 마이너스 0.85V 이하⁵⁵⁾로 유지되게 부식 방지 조치(전기방식, 電氣防蝕)⁵⁶⁾를 하여 배관의 외면부식을 억제하도록 되어 있다.

54) 도로, 아스팔트, 콜타르 에나멜, 타르, 에폭시 수지 등

55) 유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시에서는 방식전위를 마이너스 0.8V 이하로 유지하도록 표기되어 있으나 전기방식과 관련된 대부분의 학술자료, 국내외 규정에서는 방식전위가 마이너스 0.85V 이하로 유지되면 부식이 억제되는 것으로 기재되어 있으므로 본 처리안에서도 마이너스 0.85V로 기재함

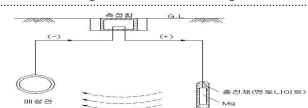
56) 전기방식은 지중 및 수중에 설치하는 강재(鋼材) 배관의 외면에 전류를 흐르게 하여 양극반응이 일어나지 않게 함으로써 배관의 부식을 방지하는 방법으로서 전원 공급 여부에 따라 외부전원법(外部電源法)과 희생양극법(犧牲陽極法)으로 구분됨

- 외부전원법은 강재 배관이 놓여 있는 전해질(해수, 담수, 토양 등)에 양극을 설치한 후 직류전원장치(정류기)의 (+)극을 이 양극에 연결하고, 배관에는 (-)극을 연결하여 배관에 방식전류를 공급함으로써 부식을 억제



[외부전원법]

- 희생양극법은 철보다 이온화 경향이 크고, 전위가 낮은 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al) 등을 도선으로 배관과 연결시키면 두 금속 간에 전지반응이 형성되어 저전위 금속이 배관을 대신하여 희생적으로 소모됨으로써 배관의 부식을 억제



[희생양극법]

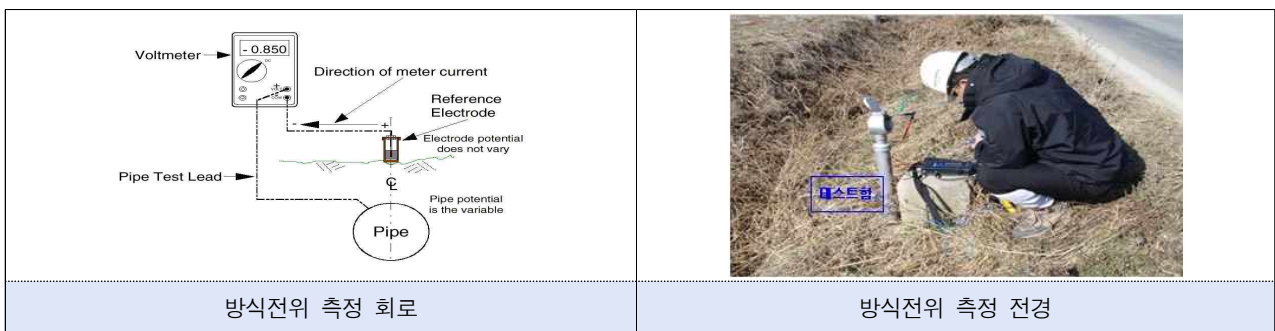
[표 22] 지하에 매설하는 화학물질 배관 설치기준

구 분	유해화학물질 사외배관 이송시설 설치 및 관리에 관한 세부기준
가. 배관 설비	8)-1 지하에 설치한 배관 등에 다음의 각 목의 기준에 내구성이 있고 전기 절연저항이 큰 도복장 재료를 사용하여 외면부식을 방지하기 위한 조치를 한다. (1)~(3) 생략 (4) 방식피복의 방법은 「수도용 강관 아스팔트 도복장 방법」(KS D 8306)에서 정한 방법, 「수도용 강관 콜타르에나멜 도복장 방법」(KS D 8307)에서 정한 방법 또는 이와 동등한 수준 이상의 부식 방지 효과가 있는 방법에 의할 것
나. 배관의 설치 등	2)-3 지하에 설치한 배관 등에는 다음의 기준에 따라 전기방식 조치를 한다. 이 경우 근접한 매설물, 그 밖의 구조물에 대하여 영향을 미치지 아니하도록 필요한 조치를 한다. (1) 방식전위는 포화황산동전극 기준으로 마이너스 0.8V 이하로 할 것 (2) 적절한 간격(200m부터 500m)으로 전위측정 단자를 설치할 것 (3) 전기철로 부지 등 전류의 영향을 받는 장소에 배관 등을 매설하는 경우에는 강제배류법 등에 따른 조치를 할 것

자료: 유해화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시

전기방식 조치를 한 지하 배관의 부식·방식 상태를 진단하는 정확하고 빠른 방법⁵⁷⁾은 [그림 9]와 같이 지하 배관에서 인출한 전위측정 단자(방식전위를 측정할 수 있는 단자를 200~500m 간격으로 설치)와 토양 표면에 접촉시킨 기준전극⁵⁸⁾ 사이에 전위측정기(voltmeter)를 연결시켜 기준전극에 대한 배관의 전위를 측정하는 것으로서, 이 방법으로 측정한 전위값이 마이너스 0.85V보다 낮으면 해당 배관은 부식으로부터 적절하게 보호되고 있는 것으로 판단하고 있다.

[그림 9] 기준전극을 이용한 방식전위 측정



자료: 가스안전공사 제출자료

57) 희생양극의 소모, 배관 절연 불량 등 다양한 원인으로 방식전위가 변화됨에 따라 배관의 방식전위를 주기적으로 측정함으로써 배관이 부식으로부터 적절하게 보호되고 있는지를 판단할 수 있음

58) 매설배관과 토양 표면[관대지(管對地)]의 전위차 측정 시 기준전극으로 포화황산동(Cu/CuSO₄)을 사용함

그런데 전기방식 조치를 한 배관에 대해 방식전위를 주기적으로 확인하지 않는다면 전기방식 시스템에 문제가 생겼을 때 배관 관리주체가 이를 인지하지 못하여 배관이 부식 환경에 노출된 채로 장기간 방치되어 부식이 진행될 수 있고, 그 결과 화학물질 누출로 환경오염, 인명 및 재산 피해 등이 발생할 우려가 있다.

더욱이, 배관 및 전기방식 설비가 설계도면과 다르게 시공되어 있을 가능성도 배제할 수 없고, 전기방식 설비가 서로 간섭(干涉)을 일으켜 방식성능이 저하될 수 있으므로 전기방식 조치를 한 배관에 대한 주기적인 점검이 필요하며, 방식 이력 자료의 축적(신뢰성 확보) 차원에서도 방식성능을 주기적으로 확인할 필요가 있다.

한편, 미연방규정(CFR: Code of Federal Regulation)에 따르면 [표 23]과 같이 파이프라인의 외면부식 관리를 위해 전기방식 조치를 한 배관라인은 15개월을 초과하지 않는 간격으로 테스트하도록 규정하고 있다.

[표 23] 미국의 방식성능 확인 규정

규정명	영문	국문
CFR	§192 Transportation of Natural and Other Gas by Pipeline: Minimum Federal Safety Standards §192.465 External corrosion control: Monitoring (a) Each pipeline that is under cathodic protection must be tested at least once each calendar year, but with intervals not exceeding 15 months, to determine whether the cathodic protection meets the requirements of § 192.463. Appendix D to Part 192 -Criteria for Cathodic Protection and Determination of Measurements I. Criteria for cathodic protection A. Steel, cast iron, and ductile iron structures. (1) A negative (cathodic) voltage of at least 0.85 volt, with reference to a saturated copper-copper sulfate half cell.	192 파이프라인을 통한 천연 및 기타 가스 운송의 최소 연방 안전표준 192.465 외부 부식관리: 모니터링 (a) 음극 방식으로 보호되는 각 배관라인은 매년 최소 한 번(15개월을 초과하지 아니함) 테스트 하여 음극방식이 192.463 요구사항을 충족 하는지 확인해야 함 부록 D(Part 192) - 음극방식 및 측정결정 기준 I. 음극방식 기준 A. 강철, 주철, 연철 구조물 (1) 포화황산동 표준전극 기준으로 0.85V 이상의 음극전압

자료: 감사대상기관 제출자료

이와 같은 사유로 고압가스 이송용 지하 배관은 고압가스법 및 고압가스 시설 설치 및 검사기준에 따라 전기방식 조치를 하고, 고압가스법 제16조의2에 따라 실시하는 정기검사 때 전기방식 성능이 적정하게 유지되는지를 확인하도록 되어 있다.

따라서 화학물질을 이송하는 지하 배관에 대해서도 「화학물질관리법」 및 유해 화학물질 사외배관 설치 및 관리 고시 등에 따라 전문검사기관이 정기검사⁵⁹⁾를 할 때 방식전위가 적정하게 유지되는지를 확인하도록 하여 지하 배관이 부식 환경에 노출된 채 장시간 방치되는 상황을 방지할 필요가 있다.

3) 감사결과 확인된 문제점

2021년 11월 감사일 현재 유해화학물질 취급시설 검사 및 진단 규정에 따르면 지하 배관을 설치한 직후 실시하는 설치검사 때는 배관의 피복 여부, 전기방식 조치의 적정 여부를 확인하도록 되어 있으나 배관을 사용하는 중에 실시하는 정기검사 때는 배관의 방식전위가 적정하게 유지되는지를 확인하도록 하는 규정이 마련되어 있지 않다.

이에 이번 감사기간(2021. 11. 29.~12. 17.) 동안 산업단지공단이 울산산단 지하에 매설된 고압가스 및 화학물질 배관 중 설치 후 20년 이상 경과한 배관(연장) 626,469m⁶⁰⁾를 대상으로 실시한 안전진단 보고서를 토대로 지하 배관의 관리를 위해 설치해 놓은 전위측정 단자의 관리상태와 전기방식 조치된 배관의 방식전위의 적정성을 검토하였다.

59) 정기검사 주기: 영업허가 대상 1년, 영업허가 면제대상 2년(「화학물질관리법 시행규칙」 제23조 제2항)

60) 산업단지공단이 36억여 원을 투입하여 2018년부터 2022년까지 울산지역 산업단지 지하에 매설된 고압가스 배관, 화학물질 배관 중 설치 후 20년 이상 경과한 배관(연장) 910,043m를 대상으로 안전진단을 하고 있으며, 2021년 까지 배관(연장) 626,469m에 대하여 안전진단을 완료하였음

그 결과, [표 24]와 같이 고압가스 배관에 설치된 전위측정 단자는 전체 310개 중 7개가 불량(고장률 2.3%)인 반면, 화학물질 배관에 설치된 전위측정 단자는 전체 135개 중 11개가 불량(고장률 8.1%)으로 확인되어 화학물질 배관에 설치된 전위측정 단자의 고장률이 고압가스 배관보다 3.5배가량 높았다.

그리고 전기방식 조치를 한 배관 중 고압가스 배관은 전체 연장 275,074m 중 0.3%에 해당하는 916m 구간이 방식전위 기준에 미달하였으나 화학물질 배관은 전체 연장 297,770m 중 2.0%에 해당하는 5,926m 구간이 방식전위 기준에 미달하는 것으로 확인되었다.

[표 24] 울산지역 산업단지 내 지하 배관 안전진단 결과

(단위: 개, m, %)

배관 구분	전위측정 단자(Test Box)		배관 연장	방식전위 기준미달 구간 연장(비율)
	전체 개수	불량 개수(비율)		
합계	445	18(4.0)	572,844	6,842(1.2)
고압가스	310	7(2.3)	275,074	916(0.3)
화학물질	135	11(8.1)	297,770	5,926(2.0)

주: 고압가스 배관과 화학물질 배관에 대해 전기방식 설비가 공동으로 설치된 배관 연장(53,625m)을 제외
 자료: 산업단지공단 제출자료 재구성

한편, 지하 배관의 부식으로 인한 사고 사례를 살펴보면, 울산산단에서 2014년부터 2021년까지 발생한 사외배관 사고(부식) 사례 3건⁶¹⁾ 중 고압가스 배관은 사고가 없었으나⁶²⁾ 화학물질 배관은 같은 기간 동안 [표 25]와 같이 2020. 5. 13. ◆◆주식회사 소유의 지하 배관이 부식되어 스티렌모노머⁶³⁾ 약 11톤이 유출되는 등 화학물질이 누출되는 사고가 2건 발생하였다. 이처럼 고압가스 배관에 비해 방식전위 관리 등이 상대적으로 미흡한 화학물질 배관에서 부식으로 인한

61) 2014년부터 2021년까지 울산산단에서 발생한 27건의 사고 중 배관 부식으로 인한 사고는 3건(화학물질 이송 배관 2건, 열수송관 1건)임

62) 고압가스 배관은 굴착공사 진행 과정에서 기준에 매설된 배관을 손상시키는 사고가 주로 발생하고 있음

63) 자극성 냄새가 나는 무색 또는 황색을 띠는 인화성 액체로 폴리스티렌 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 합성 고무의 원료로 사용됨

사고가 더 많은 것으로 파악되었다.

[표 25] 울산산단 내 화학물질 이송 사외배관 부식 사례

사고일자	구분	이송물질	사고장소	사고내용	사고원인
2017. 5. 19.	화학물질	산화프로필렌	○사거리	◆◆(주) 소유의 산화프로필렌 배관 피복 손상에 따른 노후화로 누출 발생(악취 민원 발생)	부식
2020. 5. 13.	화학물질	스티렌모노머	남구	◆◆(주)에서 ♥♥(주)로 연결된 지하배관이 부식되어 스티렌모노머 약 11톤이 인근 ●● 2공장 내 우수로로 유출	부식

자료: 울산광역시 제출자료

그 결과 지하 배관의 방식전위를 주기적으로 확인하지 아니함으로써 전기방식 성능이 저하된 배관이 장시간 방치되어 배관 부식으로 인한 유해화학물질 누출 등의 사고가 발생할 우려가 있다.

관계기관 의견 환경부는 감사결과를 받아들이면서 유해화학물질 취급시설 운영 중에 실시하는 정기검사 때에도 지하 배관의 전기방식 성능이 적정하게 유지되고 있는지를 확인할 필요성이 인정되어 2021. 12. 24. 유해화학물질 취급 시설 검사 및 진단 규정을 개정하여 지하 배관에 대한 정기검사 때 전기방식 성능을 확인하도록 조치하였다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 위 감사결과 지적내용에 대하여 환경부가 2021. 12. 24. 전기 방식 조치를 한 배관은 정기검사 때 방식성능을 확인하도록 「유해화학물질 취급 시설의 설치·정기·수시검사 및 안전진단의 방법 등에 관한 규정」을 개정함에 따라 시정이 완료되었으나, 향후 유사 사례 등 재발 방지를 위하여 그 내용을 통보 하오니 환경부장관은 관련 업무에 참고하시기 바랍니다.[통보(시정완료)]

1) 업무 개요

산업부는 석유화학산업단지 등에서 고압가스(가연성가스⁶⁴)와 고압산소⁶⁵)로 인한 화재사고를 방지하기 위해 고압가스법에 고압가스 배관의 안전에 관한 기본적인 사항을 정하여 관리하고 있다.

배관에서 발생하는 화재사고는 가연성가스가 배관 외부로 누출되어 대기 중에 존재하는 산소와 결합하여 발생하는 배관 외 화재와 고압산소가 배관 내에서 가연물, 점화원과 결합하여 발생하는 배관 내 화재로 구분된다.

유럽가스연합⁶⁶)(EIGA: European Industrial Gases Association, 이하 “EIGA”라 한다) 기준에 따르면 화재는 연소의 3요소, 즉 산소, 가연물, 점화원이 모두 존재할 때만 발생하고, 산소, 가연물, 점화원 중 한 가지라도 존재하지 않으면 발생하지 않는다.

♣♣학회지 논문⁶⁷) 등에 따르면 배관 내에서 발생하는 화재의 경우 공기 중 연소와는 다르게 [사진 5]와 같이 폭굉⁶⁸)이 발생할 가능성이 높으며, 이로 인한 물리적인 충격에 의해 인명피해가 발생할 가능성이 높은 것으로 되어 있다.

64) 고압가스법 시행규칙 제2조에 따르면 가연성가스란 프로필렌 등 공기 중에서 연소하는 가스(산소는 미포함)

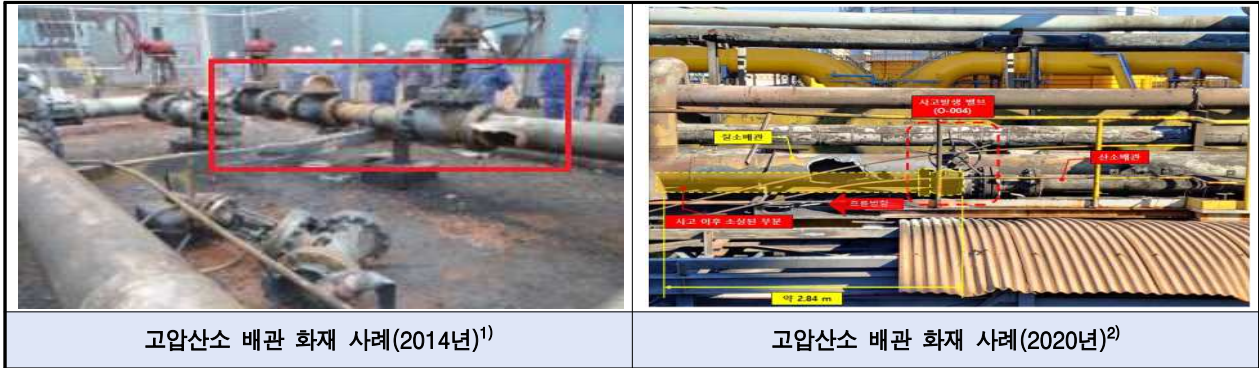
65) 고압가스법 제2조 등에 따르면 고압산소는 고압가스(1MPa 이상의 압력을 가진 가스)에 해당

66) 유럽가스연합은 가스 등을 생산 및 유통하는 대다수의 유럽 기업과 다수의 비유럽 기업을 대표하는 안전 및 기술 조직으로서 무역 및 산업 조직뿐만 아니라 표준화 및 규제 기관에 자문을 해 주는 역할을 하고 있음

67) 순산소와 미분탄 가스 연소에 의한 용융로 풍구 선단부 손상 모델링: 폭굉 압력파에 의한 영향(♣♣학회지 제 34권 제11호, A 등, 2009년)

68) 폭굉이란 화염 전파 속도가 매질 속에서 음속보다 빠르게 이동하는 일종의 폭발 현상

[사진 5] 고압산소 배관 화재로 인한 폭굉 발생 사례



- 주: 1. 고압산소 배관에 설치된 밸브 개방 시 밸브 후단에서 폭굉이 발생하여 배관이 파손된 사고(사망 3명)
 2. 고압산소 배관에 설치된 밸브 개방 시 밸브 후단에서 폭굉이 발생하여 배관 2.8m가 소실된 사고(사망 3명)
 자료: 감사대상기관 자료 재구성

2) 관계 법령 및 판단기준

산업부는 고압가스법 제4조 제6항 및 고압가스법 시행규칙 제8조 제1항 제1호 등에 따라 고압가스 배관설치자로 하여금 취급하는 가스의 특성을 고려하여 배관의 안전한 유지·관리에 필요한 설비를 설치하도록 하거나 안전 확보에 필요한 조치를 하도록 하는 등 고압가스의 제조·저장 및 판매에 필요한 시설기준과 운영기준을 마련하여 운용하고 있다.

이는 고압가스의 종류별로 배관에서 발생할 수 있는 화재의 발생 특징을 반영하여 사전에 대처할 수 있도록 하고, 작업자가 고압가스 설비 및 배관을 안전하게 취급할 수 있도록 구조적인 대책을 마련하여 화재사고를 방지하기 위함이다.

미국재료시험협회(ASTM: American Society for Testing and Materials) 기준에 따르면 산소, 가연물, 점화원이 모두 존재해야 발생하는 화재의 특성상 [표 26]과 같이 배관 내에 이미 산소가 존재하는 고압산소 배관의 경우 배관 내부에서도 화재가 발생할 수 있으므로 고압산소 배관에서의 화재 예방을 위해서는 배관 내 점화원 제거 등의 대책이 필요하다.

[표 26] 고압가스 배관에서의 화재 발생 요소

화재 요소	배관 외 발생	배관 내 발생
산소	대기 중 산소(가스 누출 시)	고압산소 배관에서는 산소 조건이 이미 충족
가연물	가연성가스가 배관 외부로 누출되면서 가연물로 작용	스케일(배관의 녹, 금속 입자) 등
점화원	불꽃, 정전기, 고온 표면, 자연발화, 전기불꽃 등	밸브 개폐 시 산소의 급격한 흐름으로 인한 입자 충돌 1), 단열 압축2) 등

주: 1. 밸브를 개폐할 때 발생하는 난류에 의해 배관 내 스케일이 배관 등에 충돌하는 현상

2. 밸브를 개방하면 밸브 후단에서 가스가 압축되면서 온도가 상승하는 현상

자료: ASTM G 128-02

2012년부터 2021년까지 10년간 고압가스 배관에서 발생한 화재사고를 배관 내외부로 구분해 본 결과, [표 27]과 같이 배관 내 화재사고 발생 비율은 전체 고압가스 배관 화재사고 14건 중 5건으로 36%에 불과하지만 인명피해 발생 비율은 약 71%(전체 7건 중 5건)를 차지하고, 사망자도 모두 배관 내 화재사고에서 발생한 것으로 나타났다.

[표 27] 고압가스 배관 화재 발생 현황(2012~2021년)^{주)}

(단위: 건, 명)

장소	가스 내용물	사고 건수	인명피해 발생 건수	인명피해	
				사망	부상
합계		14	7	7	13
배관 외 화재	가연성가스	9	2	0	11
배관 내 화재	산소	5	5	7	2

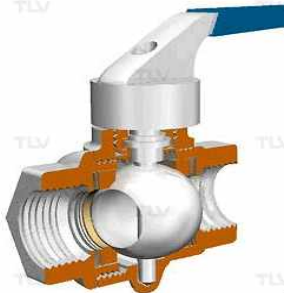
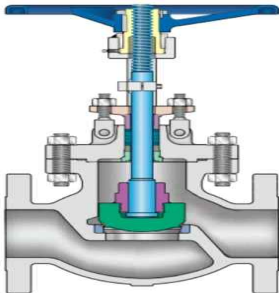
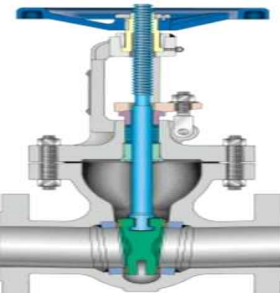
주: 배관 외 발생한 화재사고는 모두 가스 내용물이 가연성가스, 배관 내 발생한 화재사고는 모두 산소였음

자료: 감사대상기관 자료 재구성

가스안전공사의 산소 배관 화재사고 조사보고서에 따르면 고압산소 배관 내 화재는 밸브를 개방할 때 고압산소의 급격한 흐름에 의해 화재가 발생한 것으로 조사되어 고압산소 배관에 설치된 밸브를 개방할 때 급격한 고압산소의 흐름을 제어할 수 있으면 고압산소 배관 내부에서 발생하는 화재사고를 방지할 수 있는 것으로 분석되었다.

한편, 볼밸브(ball valve)는 [그림 10]과 같이 손잡이를 90도 회전시켜서 밸브를 완전히 개방할 수 있는 편리성 때문에 산업 분야에서 널리 사용되고 있지만, 순간적으로 밸브가 완전히 개방되다 보니 고압산소 배관에 설치할 경우 산소의 급격한 흐름을 유발하여 배관 내에서 화재를 일으킬 가능성이 있다.

[그림 10] 밸브 형식 비교

 ▶장점: 조작이 쉬움 ▶단점: 매질의 급격한 유동을 발생시킬 불에 잘 타는 물질에 사용 금지 볼밸브(ball valve)	 ▶장점: 기밀성이 높고, 유량제어에 탁월 ▶단점: 유체저항이 큼 밸브 개폐 시 시간이 소요됨 글로브밸브(globe valve)	 ▶장점: 유체의 압력 손실이 거의 없음 ▶단점: 밸브 개폐 시 시간이 소요됨 게이트밸브(gate valve)
---	--	--

자료: 밸브 제조업체 자료

EIGA 기준 등에서는 [표 28]과 같이 고압산소 배관에서의 화재 발생을 예방할 수 있는 대책으로 시설 측면에서는 볼밸브 설치를 지양하고, 밸브 전·후단의 압력차를 천천히 줄일 수 있는 우회 밸브를 설치하도록 하고 있으며, 운영 측면에서는 밸브를 천천히 개방하여 산소의 급격한 흐름을 유발하지 않도록 하는 방법 등을 제시하고 있다.

[표 28] 고압산소 배관 화재 방지 대책

분류	대책
시설 기준	▶ 급격히 열릴 위험이 있는 볼밸브(ball valve) 사용을 지양 ▶ 우회 밸브(bypass valve) 등 설치
운영 기준	▶ 밸브 개방 시 1초 이상에 걸쳐 천천히 균압 조치 후 개방 ▶ 작업자에게 고압산소의 특성과 관련한 안전매뉴얼 교육

주: 주(Main)배관의 유량을 미세하게 조정하기 위해 설치한 우회 배관의 밸브(게이트밸브, 글로브밸브 등 사용)

자료: EIGA, AIGA(Asia Institute of Gases Association), ASTM G88-13 등

따라서 산업부는 고압가스법 등에 고압산소 배관 내부에서 산소의 급격한 흐름으로 화재가 발생하는 일이 없도록 볼밸브 사용을 제한하고, 우회 밸브 설치, 고압산소 배관에 설치된 밸브 조작과 관련한 운영기준을 제시하는 등으로 고압산소 배관 내부에서 화재가 발생하는 사고를 예방하는 것이 바람직하다.

3) 감사결과 확인된 문제점

산업부는 고압가스법 등 관련 규정에 [표 29]와 같이 배관 외에서 발생할 수 있는 화재에 대해서만 방지대책을 마련하였고, 고압산소 배관 내에서 발생할 수 있는 화재에 대해서는 방지대책을 마련하지 않고 있다.

[표 29] 고압가스 배관 화재 요소별 주원인과 대책

배관 외 화재 발생(가연성가스)		배관 내 화재 발생(고압산소)	
주원인	· 산소: 대기 중 산소(배관 외부로 가스 누출 시) · 가연물: 가연성가스 · 점화원: 불꽃, 정전기, 고온 표면 등	주원인	· 산소: 배관 내 고압산소 · 가연물: 스케일(배관 녹, 금속입자), 유지류 등 · 점화원: 급격한 밸브 개폐(입자 충돌, 단열 압축)
대책	· 가연물: 고압가스법 시행규칙 제8조 등에 가연성 가스의 배관 외부 누출 등을 방지하기 위한 조치 (배관설비의 구조, 접합, 신축 흡수조치 등) · 점화원: 고압가스법 시행규칙 제8조 등에 배관 외부에서 불꽃 등이 발생하는 것을 방지하기 위한 조치	대책	· 없음

자료: 감사대상기관 자료 재구성

이번 감사기간(2021. 11. 29.~12. 17.) 동안 울산산단과 여수산단의 사외배관 중 고압산소 배관의 밸브 설치 현황⁶⁹⁾을 조사해 본 결과, [표 30]과 같이 고압산소 배관 68개 중 76%에 해당하는 52개에 고압산소 배관 내부에서 화재를 유발할 가능성이 있는 볼밸브가 설치되어 있는 것으로 확인되었다.

69) 대산산단은 고압산소 사외배관이 설치되어 있지 아니하여 울산산단, 여수산단을 대상으로 조사

[표 30] 석유화학산업단지 고압산소 배관 볼밸브 설치 현황

(단위: 개)

지역	전체 배관	볼밸브 설치 배관	볼밸브 미설치 배관
합계(비율)	68(100%)	52(76%)	16(24%)
여수산단	18	18	0
울산산단	50	34	16

자료: 감사대상기관 자료 재구성

나아가, 울산산단과 여수산단의 고압산소 배관에 설치된 볼밸브는 [사진 6]과 같이 밸브 손잡이 회전 부분이 부식된 채로 관리되고 있었다. 이에 대해 대전 대학교 소방방재학과 교수는 볼밸브의 구조적 특성상 작업자가 손잡이를 회전 시키기 위해 센 힘을 가할 경우 밸브 개방 속도를 제어하기 어려워 밸브가 급격하게 개방될 위험이 있고, 더욱이 밸브 손잡이 회전 부위가 부식되어 있다면 작업자가 손잡이를 회전시키기 위해 더 큰 힘을 가할 수밖에 없고, 이로 인해 밸브가 더욱 급격히 개방될 위험성이 더 커진다고 지적하였다.

[사진 6] 고압산소 배관에 설치된 볼밸브 관리상태



자료: 감사원 현장점검 자료

그리고 고압가스 제조사업자 등이 현장에서 고압가스 배관 자체 점검 시 안전에 관한 전반적인 사항을 체계적으로 관리하기 위해 만든 운영기준(「안전관리규정」)⁷⁰⁾ 등에도 고압산소 배관 밸브 개방 시 산소의 급격한 흐름을 방지할 수 있는 세부 요령 등을 포함하도록 조치하지 아니하여 작업자가 급하게 밸브

70) 고압가스법 제11조에 따라 고압가스 제조사업자 등이 고압가스 시설의 안전유지에 관한 사항을 정하여 이행하는 규정으로서 가스안전공사가 안전관리규정 표준안을 마련하여 각 사업장에 배포하고 있음

를 조작할 경우 화재의 위험성에 노출될 수밖에 없는 실정이다.

그 결과 고압산소 배관 작업자들이 산소 배관의 밸브를 개방하다가 원인도 모른 채 고압산소 배관 폭굉 등에 의한 사고로 사망하는 등의 안전사고가 지속적으로 발생할 우려가 있다.

관계기관 의견 산업부는 감사결과를 수용하며 고압가스법 제22조의2에 규정된 가스 상세기준 개정 등을 통하여 고압산소가 흐르는 배관에서 발생할 수 있는 화재에 대한 방지대책을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 산업통상자원부장관은 「고압가스 안전관리법」에 따른 시설기준 및 운영기준 등에 불밸브 사용을 지양하고, 운영 중에는 밸브를 가능한 천천히 개방하도록 명시하는 등 관련 기준을 보완하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

[별표]

2007년 이후 여수산단 내 도로점용(굴착) 허가 및 정보관리 현황

(단위: m)

연번	업체명	설치연도	이송물질	배관 길이	도로점용 허가 여부	배관정보 등록 여부
	합계	-	-	27,198	-	-
1	-	2007년	질소	2,376	O	X
2	-	2007년	C4-RF III	173	미확인 ¹⁾	X
3	-	2007년	C4-RF III	4,300	미확인	X
4	-	2009년	수소	2,129	O	X
5	-	2009년	질소	2,124	O	X
6	-	2009년	일산화탄소	1,156	X ²⁾	X
7	-	2009년	수소	1,157	X	X
8	-	2010년	질소	1,099	O	X
9	-	2010년	산소	1,101	O	X
10	-	2014년	산화에틸렌	1,128	O	X
11	-	2014년	질소	231	O	X
12	-	2015년	하이드로카본-벤젠, 페놀	592	O	X
13	-	2016년	전력관	1,061	O	X
14	-	2017년	환기관, 전력관	1,693	O	X
15	-	2017년	전력관	250	O	X
16	-	2019년	이산화탄소	178	O	X
17	-	2021년	MIXED-C4	2,150	O	X
18	-	2021년	프로필렌	2,150	O	X
19	-	2021년	C4 RAFFINATE-1	2,150	O	X

주: 1. 여수시 자료에서 확인이 불가하거나 입주기업이 자료를 제출하지 않음

2. ⊙⊙(주)가 지하 배관을 설치할 당시에는 도로가 아니었음(도로점용 허가 미대상)

자료: 여수시, 여수산단 입주기업 제출자료 재구성