

석사학위논문

전자제품 제조업의 밀폐공간 특성에 따른
위험도 분석과 안전관리 방안에 관한 연구

2024년

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

강 만 석

석사학위논문
지도교수 박두용

전자제품 제조업의 밀폐공간 특성에 따른 위험도 분석과 안전관리 방안에 관한 연구

A study on risk analysis and accident prevention
measures by the characteristics of the confined spaces
in an electronic parts manufacturing industry

2024년 6월 일

한성대학교 대학원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

강만석

석사학위논문
지도교수 박두용

전자제품 제조업의 밀폐공간 특성에 따른 위험도 분석과 안전관리 방안에 관한 연구

A study on risk analysis and accident prevention
measures by the characteristics of the confined spaces
in an electronic parts manufacturing industry

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 6월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

강 만 석

강만석의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 6월 일

심사위원장 윤 주 일 (인)

심 사 위 원 강 태 선 (인)

심 사 위 원 박 두 용 (인)

국 문 초 록

전자제품 제조업의 밀폐공간 특성에 따른 위험도 분석과 안전관리 방안에 관한 연구

한 성 대 학 교 대 학 원
기 계 시 스템 공 학 과
산 업 위 생 공 학 전 공
강 만 석

밀폐공간은 산업안전 분야에서 가장 위험한 작업공간 중의 하나이다. 밀폐공간은 밀폐라는 특성으로 환기가 잘되지 않는다는 점, 장기간 사람이 출입하지 않아 내부에 부패나 부식 등이 일어나 산소가 고갈되고 유해가스가 축적되어 있을 가능성이 있기 때문이다. 이러한 위험은 즉각적으로 사망을 일으키거나 치명적인 건강장해를 유발하기 때문에 사고가 발생하면 회복이 불가능한 경우가 많다. 또한 출입구가 작고 깊이가 깊으며, 내부에서 출입구까지 거리가 멀어 사고가 발생하면 즉각적으로 구조하기도 쉽지 않다. 따라서 밀폐공간 작업을 할 때는 사전에 철저한 예방조치가 필수적이다. 밀폐공간이 위험하기는 하지만 모든 밀폐공간이 모두 똑같은 유해·위험요인이 발생하는 것은 아니다. 밀폐공간의 출입구나 공간의 크기 등 물리적 특성과 어떤 목적으로 사용하는가에 따라 달라지는 내부의 공기나 화학물질 등의 화학적 특성 그리고 미생물 종류나 양 등 생물학적 특성에 따라 위험양상이 완전히 달라진다.

따라서 밀폐공간의 안전하게 관리하려면 사전에 각 밀폐공간의 특성을 정확히 파악하고, 그에 맞는 적절한 안전조치와 관리방안을 마련해 놓는 것이 중요하다.

본 연구는 제조업의 밀폐공간 특성과 위험도를 파악하기 위하여 전자제품 제조업 1개소의 모든 밀폐공간을 파악하여 각 용도별로 분류하고 그 특성을 조사하여, 밀폐공간별로 어떤 유해위험요인이 있는지 파악하였다. 전자제품 제조업에는 일반적으로 제조업이 가지고 있는 여러 종류의 다양한 밀폐공간을 모두 가지고 있으므로, 본 연구 결과는 일반적인 제조업뿐만 아니라 특성이 유사한 밀폐공간을 가진 모든 업종에서 밀폐공간을 관리하는데 유용한 자료가 될 것이다.

본 연구에서 대상으로 한 사업장은 전자제품 제조업으로 상시근로자 5,000여명 규모였다. 밀폐공간은 용도별로 크게 폐수, 오수 및 우수와 관련된 시설(152개소, 42%), 공업용수나 생활용수와 관련된 시설(95개소, 26%), 화학원료 보관시설(54개소, 15%), 대기오염 방지시설(52개소, 14%) 그리고 전력점검 공동구(11개소, 3%) 등 5가지로 구분할 수 있었다. 용도별로 분류하면 밀폐공간 내용물 특성을 파악하기 쉽고 무엇보다도 관리 주체가 명확해지는 장점이 있다.

모든 밀폐공간에서 공통적으로 나타난 물리적 사고 위험요인은 추락이었다. 거의 모든 밀폐공간은 깊이가 2 m 이상으로 내부로 들어가거나 나올 때 추락의 위험성이 있었다. 일부 밀폐공간의 깊이는 최대 깊이가 6 m인 상용화된 이동식 사다리의 길이보다 더 깊었다. 또한 출입구가 좁고 천정 가운데 있는 경우도 있어서 내려갈 때 추락이 위험이 더욱 큰 곳도 있었다. 이러한 밀폐공간의 특성상 밀폐공간의 주요 위험으로 추락을 포함시키는 것이 필요하다고 판단되었다.

밀폐공간의 용도별로 내부 물질, 투입약품, 저장기간 등이 다르며, 이때 발생하는 유해가스나 산소농도 변화도 모두 다른 것으로 나타났다. 제조업에서 밀폐공간이 가장 많은 폐수처리장은 대부분 폐수의 오염물질 농도가 아주 높지 않고, 수용액 형태이며 가동 중에는 밀폐되어 있어, 공기 중 미스트나 유기용제 등의 화학물질에 의한 노출 가능성은 거의 없었다. 대부분의 밀폐공간

위험은 유지보수 및 청소 등을 위해 가동을 멈추고 내용물을 모두 빼낸 후에 작업자가 내부로 들어갈 때 발생한다. 다만, 가동 중에 일부 밀폐공간의 내부에서는 산소나 유해가스 농도가 상승하는 경우가 있으므로 가동 중인 밀폐공간의 내부를 점검하거나 확인할 필요가 있을 경우, 잠시라도 고개를 안쪽으로 넣는 일이 없도록 철저한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 예를 들어, 폐수처리 시설 중 조정조와 반응조는 일시적으로 산소농도가 23% 이상일 경우도 있었으며, 이산화탄소 농도도 1.5%를 초과하는 경우가 있는 것으로 나타났다.

오수나 미생물을 이용하여 오염물을 정화하는 처리시설은 미생물에 의한 산소고갈이나 황화수소와 같은 유해가스가 발생할 우려가 있으므로 작업 전에 충분한 환기와 산소 및 유해가스 농도 측정이 매우 중요한 것으로 나타났다. 그 외에 일반적인 폐수처리 시설의 밀폐공간에서는 산소결핍 위험은 거의 없으며, 유해가스 발생 위험도 낮은 것으로 나타났다. 따라서 오수 및 미생물에 의한 처리 시설을 제외한 폐수 관련 밀폐공간은 사전에 산소와 유해가스 농도가 정상임을 확인하면 일반 작업에 준하는 안전조치를 취해도 될 것으로 보인다. 다만, 작업 중 주기적으로 산소 및 유해가스 농도를 측정하여 안전성을 확보하는 것은 필요할 것이다.

제조업의 밀폐공간 중에서 불확실성이 가장 큰 밀폐공간은 대기오염 방지 시설인 것으로 나타났다. 대기오염 방지시설의 밀폐공간은 별도로 존재하는 것이 아니고, 유지보수 및 청소 등 필요에 따라 정해지는 작업공간이 바로 밀폐공간 작업 장소가 된다. 따라서 대기오염방지시설의 밀폐공간 특성은 그때그때마다 달라지는 특성이 있다. 본 연구에서는 현재 밀폐공간으로 지정된 52개소 중 공간적 특성의 자료가 있는 27개소에 대하여 살펴본 결과, 대부분 깊이가 3m 이상이며 8~9m에 이르는 곳도 다수가 있었으며, 공간이 구조나 형태도 상대적으로 복잡한 것으로 나타났다. 따라서 대기오염방지 시설의 밀폐공간은 작업이 있을 때마다 사전에 공간 및 내용물의 특성을 파악하고, 이에 따라 사전에 안전작업계획을 수립하도록 하는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 다른 밀폐공간은 대부분 장소가 고정되어 있고, 내부의 상태가 일정하므로 각 밀폐공간의 유형과 크기별로 밀폐공간 작업절차서와 안전조치 사항

을 담은 지침이나 매뉴얼을 개발하거나 밀폐공간마다의 안전작업 매뉴얼을 개발할 필요성이 있다고 판단되었다.

【주요어】 밀폐공간, 용도별 분류, 대기오염 방지시설

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구의 목적	1
제 2 장 연구대상 및 방법	4
제 1 절 연구 대상	4
1) 사업장	4
2) 연구대상 밀폐공간	4
제 2 절 연구 방법	5
1) 밀폐공간 파악	5
2) 밀폐공간 분류	6
3) 밀폐공간 위험도 분석	6
4) 산소 및 유해가스 측정	7
제 3 장 연구 결과	9
제 1 절 총괄	9
1) 밀폐공간 현황	9
제 2 절 밀폐공간의 특성 분석	34
1) 폐수, 오수 및 우수 처리시설 밀폐공간의 특성	35

2) 용수관련 시설 밀폐공간의 특성	46
3) 화학원료보관 시설 밀폐공간의 특성	50
4) 대기오염 방지시설 밀폐공간의 특성	51
5) 전력점검 시설 밀폐공간의 특성	52
 제 3 절 밀폐공간의 가동 중 산소 및 유해가스 농도	53
1) 폐수, 오수 및 우수 처리시설 산소 및 가스농도	53
2) 용수관련 시설 측정현황	64
3) 화학원료보관 시설 측정현황	66
4) 대기오염 방지시설 측정현황	67
5) 전력점검 시설 측정현황	67
 제 4 절 밀폐공간의 위험도 분석	68
1) 위험도 분석	68
2) 폐수, 오수 및 우수 처리시설의 위험도 분석	69
3) 용수관련 시설의 위험도 분석	88
4) 화학원료 보관시설의 위험도 분석	95
5) 대기오염 방지시설의 위험도 분석	97
6) 전력점검 시설의 위험도 분석	99
 제 5 절 밀폐공간 작업의 안전관리방안	101
1) 전제조건	102
2) 밀폐공간별 관리 매뉴얼 및 자료 DB화	103
3) 용도별 밀폐공간의 주요위험과 관리방안	104

제 4 장 결 론	111
참 고 문 헌	114
ABSTRACT	116

표 목 차

〈표 1〉 밀폐공간 분류 및 관리부서	6
〈표 2〉 밀폐공간의 위험 분류 및 직·간접 원인	6
〈표 3〉 직독식 복합가스측정기 규격	7
〈표 4〉 용도별 밀폐공간 현황	11
〈표 5〉 폐수 처리시설 약품 사용 현황	12
〈표 6〉 산폐수 처리시설 밀폐공간 종류	14
〈표 7〉 산폐수 처리시설 밀폐공간 현황	15
〈표 8〉 산폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기	15
〈표 9〉 유기폐수 처리시설 밀폐공간 종류	16
〈표 10〉 유기폐수 처리시설 밀폐공간 현황	18
〈표 11〉 유기폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기	18
〈표 12〉 박리폐수 처리시설 밀폐공간 종류	19
〈표 13〉 박리폐수 처리시설 밀폐공간 현황	20
〈표 14〉 박리폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기	21
〈표 15〉 종합폐수 처리시설 밀폐공간 종류	22
〈표 16〉 종합폐수 처리시설 밀폐공간 현황	23
〈표 17〉 종합폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기	24
〈표 18〉 용수 시설 밀폐공간 현황	26
〈표 19〉 용수 시설 밀폐공간 형태 및 크기	27
〈표 20〉 순수 시설 밀폐공간 종류	28
〈표 21〉 순수 시설 밀폐공간 현황	29
〈표 22〉 순수 시설 밀폐공간 형태 및 크기	29
〈표 23〉 소화 시설 밀폐공간 현황	30
〈표 24〉 소화 시설 밀폐공간 형태 및 크기	30
〈표 25〉 화학원료보관 시설 밀폐공간 현황	31
〈표 26〉 화학원료보관 시설 밀폐공간 형태 및 크기	31

〈표 27〉 대기오염 방지시설의 밀폐공간 현황	32
〈표 28〉 대기오염 방지시설의 밀폐공간 형태 및 크기	32
〈표 29〉 전력점검 시설 밀폐공간 현황	33
〈표 30〉 전력점검 시설 밀폐공간 형태 및 크기	33
〈표 31〉 안전보건 위험도에 영향을 미치는 밀폐공간의 특성	35
〈표 32〉 가동 중인 산폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과	57
〈표 33〉 가동 중인 유폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과	58
〈표 34〉 가동 중인 유폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과	60
〈표 35〉 가동 중인 유폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과	61
〈표 36〉 오수 시설 유해가스 측정 결과	63
〈표 37〉 우수 차단시설 유해가스 측정 결과	63
〈표 38〉 용수 시설 유해가스 측정 결과	64
〈표 39〉 순수 시설 유해가스 측정 결과	65
〈표 40〉 소화시설 유해가스 측정 결과	66
〈표 41〉 화학원료보관 시설 유해가스 측정 결과	66
〈표 42〉 전력점검 시설 유해가스 측정 결과	67
〈표 43〉 밀폐공간 위험 발생 원인 분류표	68
〈표 44〉 산폐수 처리시설의 위험도 분석	72
〈표 45〉 유기폐수 처리시설(무산소조 및 호기조 제외)의 위험도 분석	75
〈표 46〉 무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설의 위험도 분석	77
〈표 47〉 박리폐수 처리시설의 위험도 분석	80
〈표 48〉 종합폐수 처리시설의 위험도 분석	83
〈표 49〉 오수 시설의 위험도 분석	86
〈표 50〉 우수 차단시설의 위험도 분석	88
〈표 51〉 용수 시설의 위험도 분석	90

〈표 52〉 순수 시설의 위험도 분석	93
〈표 53〉 화학원료 보관시설의 위험도 분석	97
〈표 54〉 대기오염 방지시설의 위험도 분석	99
〈표 55〉 전력점검 시설의 위험도 분석	101

그 립 목 차

[그림 1] 폐수처리시설 공정 흐름도	13
[그림 2] 용수관련시설 공정 흐름도	26

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 목적

밀폐공간은 대부분 좁은 출입구 이외에는 막혀 있어 환기가 충분하지 않은 공간으로, 여러 가지 유해·위험 요인으로 인한 사고나 중독 등으로 심각한 건강장해나 사망을 일으킬 수 있는 공간을 말한다. 밀폐공간에서 가장 많이 발생하는 질식재해나 황화중독 사고는 일단 발생하면 치명적인 인명손상을 일으킬 수 있으므로 산업안전보건법에서도 별도의 규정을 두어 사전에 철저하게 관리하도록 하고 있다. 산업안전보건 기준에 관한 규칙에서 밀폐공간은 산소농도 18% 이상 23.5% 미만, 탄산가스 농도 1.5% 미만, 황화수소 농도 10ppm 미만, 일산화탄소 30ppm 미만으로 유지하도록 규정하고 있으며, 사업장에서 흔히 존재하는 밀폐공간의 유형이나 대상도 구체적으로 적시하고 있다(고용노동부, 2024).

그럼에도 불구하고, 매년 밀폐공간에서의 사고가 끊임없이 발생하고 있다. 2014년도부터 2023년까지 10년간 밀폐공간에서의 질식 재해자는 142명이었으며, 76명(53.5%)이 사망한 것으로 나타나 일단 사고가 발생하면 치명적인 것으로 나타났다. 질식재해는 전 산업에서 모두 나타났으며, 제조업에서의 재해자 수가 44명으로 전체의 약 31%를 차지했다.

밀폐공간이 위험하기는 하지만 밀폐공간의 유해·위험요인이 잘 알려져 있고, 이를 개선하거나 안전하게 관리하는 방법이 잘 알려져 있으므로 사전에 유해·위험요인을 파악하고 그에 상응하는 적절한 조치만 취하면 밀폐공간의 사고는 사전에 충분히 예방이 가능하다.

밀폐공간이라고 해서 모두 같은 유해·위험요인이 발생하거나 존재하는 것은 아니다. 밀폐공간의 용도나 특성에 따라 발생하는 유해·위험요인이 다르며 그 위험도도 다르다. 사고나 직업병을 예방하려면 먼저 일하는 공간이나 환경에서 발생하여 작업자에게 노출될 가능성이 있는 유해·위험요인이 무엇인지, 그 유해·위험요인의 강도나 농도에 따른 위험도가 얼마인지를 정확하게 파악하는 것

이 중요하다. 그래야 그에 맞는 적절한 예방대책을 수립할 수 있기 때문이다.

특히 제조업은 사전에 거의 모든 밀폐공간의 위치나 용도 등을 파악할 수 있다. 실제로 많은 기업에서는 밀폐공간을 파악하고 있으며, 현장에는 출입구에 밀폐공간 표지를 부착하여 출입 등을 엄격히 통제하고 있다. 이러한 밀폐공간은 용도 및 내부상태 등의 특성을 파악할 수 있다. 밀폐공간의 특성은 크기나 형태 등의 물리적 특성, 내부에 저장 또는 흘러들어오거나 흘러나가는 폐수, 오수, 용수, 가스 및 물질 등의 화학적 특성, 미생물 종류 및 서식 가능성 등 생물학적 특성 등이 있다. 이러한 특성을 파악하면 밀폐공간에서 발생할 수 있는 유해·위험요인을 추정 또는 파악할 수 있고, 그에 따르는 위험도도 추정이 가능하다.

밀폐공간은 산소결핍이나 황화수소 가스 발생과 같은 치명적인 유해·위험요인이 발생할 가능성이 있으므로, 일반적으로는 작업 전에 반드시 산소, 황화수소, 일산화탄소 및 이산화탄소 농도를 측정하도록 하고 있으며, 산소공급과 유해요인 제거가 충분할 정도로 환기를 시킨 후에 작업자를 투입하도록 권고하고 있다. 또한 작업 도중에 산소부족이나 유해가스가 발생할 우려가 있는 경우, 반드시 공기 공급식 호흡보호구를 착용하도록 해야 하며, 비상시 구조가 가능하도록 구조 장비도 갖추도록 하고 있다.

따라서 사업장에서는 밀폐공간으로 분류되면 법적으로는 물론 한국산업안전보건공단에서 제시하고 있는 권고지침(KOSHA GUIDE)을 모두 준수하도록 하고 있다. 현실적으로 이러한 법적 기준이나 권고에 의하여 밀폐공간을 지정하면 밀폐공간의 수가 크게 늘어난다. 또한 일률적 관리 방법에 따라 밀폐공간 안전관리를 하다보면 현장이나 현실적인 여건에 맞지 않는 안전조치를 취해야 하는 어려움이 있다. 더구나 일부 밀폐공간의 경우에는 산소결핍이나 황화수소 등 유해가스가 발생할 가능성이 거의 없음에도 불구하고 일률적으로 밀폐공간 안전조치를 모두 취하도록 하여 정작 중요한 유해·위험요인에 집중하기보다는 형식적인 안전조치를 취하는 경우가 발생하기도 하며, 산소결핍이나 유해가스가 발생할 우려가 있음에도 불구하고 법적 기준으로 밀폐공간임이 명확하지 않으면 밀폐공간으로 분류하지 않고, 상응하는 안전조치도 취하지 않는 경우가 있다.

본 연구는 밀폐공간의 물리적, 화학적, 생물학적 특성에 따라 유해·위험요인의 발생 가능성과 위험도가 달라진다는 것을 가정하여, 각 밀폐공간의 특성을 파악하고 평소에 그에 따른 유해·위험요인의 발생 특성을 파악하고 확인하는 등 일상적으로 관리하면 밀폐공간 작업이 필요할 때 최적의 안전조치를 취할 수 있어, 밀폐공간에서의 재해를 가장 효과적이고 효율적으로 예방할 수 있다는 것을 전제로 하였다.

위와 같은 전제를 바탕으로 모 전자제품 제조업에서 파악한 밀폐공간 전수에 대하여 용도별로 분류한 후, 각 밀폐공간 유형별로 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 분석하고, 그에 따른 유해·위험요인의 발생 가능성과 위험도를 추정하였으며, 유해·위험요인의 발생 가능성 및 위험도에 따라 적절한 관리방안을 제시하였다.

제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 연구 대상

1) 사업장

본 연구는 전자부품을 제조하는 1개 사업장을 대상으로 이루어졌다. 사업장은 다양한 형태의 밀폐공간을 보유하고 있는 전형적인 전자부품 제조업으로 주요 생산품목은 휴대폰 소재·부품이다. 근로자는 상시 약 5,000명, 협력업체 약 400명으로 총 5,400여명이 종사하고 있다.

2) 연구대상 밀폐공간

본 연구의 연구대상은 전자부품을 제조하는 1개 사업장에서 파악하고 있는 364개의 밀폐공간을 대상으로 하였다. 전자제품 또는 전자부품 제조업에 있는 밀폐공간은 세부 업종과 규모에 따라 차이가 있기는 하지만 대부분 용도와 용도별 물리적, 화학적, 생물학적 특성이 비슷할 것이다. 설령 이러한 특성이 다르다고 해도, 본 연구에서 실시한 방법으로 각 사업장의 밀폐공간을 파악하여 특성을 분류한 후, 유해위험요인 발생가능성과 위험도를 파악하면 밀폐공간을 훨씬 더 효과적이고 효율적으로 안전하게 관리할 수 있을 것이다.

이번 연구에서 파악된 사업장의 밀폐공간 유형은 크게 다음과 같이 분류할 수 있었다.

첫째, 폐수처리와 관련된 밀폐공간이다. 제조업에는 여러 공정에서 사용된 화학물질을 세정이나 세척한 폐수가 발생한다. 이러한 폐수는 폐수처리장에서 정화된 후 배출된다. 폐수처리 시설에는 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 농축조, pH조정조, 방류수조 및 탱크 등 다양한 밀폐공간이 있다. 한편 화학물질의 원액이나 고농도의 폐액은 별도로 처리하기 위해 수거하고 저장하는

폐액탱크가 있다.

둘째, 용수(用水) 관련 시설이다. 용수는 제조공정에 사용되는 제조용 용수와 시설 및 생활에 필요한 생활용수가 있으며, 관련 밀폐공간으로는

저수조, 탱크 및 맨홀이 있다.

셋째, 우수 및 오수 관련 시설이다. 빗물이나 생활용 폐수이며, 관련 밀폐공간으로는 맨홀, 집수조가 있다.

넷째, 제조공정에 필요한 원료가 되는 황산, 질산, 염산, 수산화나트륨 등 다양한 화학물질을 보관하는 탱크이다.

다섯째, 대기오염 방지시설이다. 제조공정에서 발생하는 대기오염 물질을 정화하는 시설로, 관련 밀폐공간으로는 흡수탑, 흡착탑이 있다.

여섯째, 전력점검 시설이다. 전력 케이블이 지나가는 곳으로 밀폐공간은 맨홀이 있다.

제 2 절 연구 방법

1) 밀폐공간 파악

먼저 연구대상 사업장에서 밀폐공간으로 파악된 목록(list)을 수집하고, 각 운영 부서에 밀폐공간의 개수와 존재 여부를 일일이 확인하였다. 이 과정에서 기존 목록에 누락되었거나 공기정화장치의 내부공간처럼 밀폐공간 목록으로 작성하여 관리하기 어려운 밀폐공간을 파악하였다.

밀폐공간 목록을 파악한 후 밀폐공간 특성을 파악하여 위험도 파악의 기초자료로 활용하였다.

- 밀폐공간의 용도 및 내용물
- 밀폐공간 내부물질의 유동 특성
- 밀폐공간의 크기 및 모양
- 밀폐공간의 개방면적
- 밀폐공간 질식가스 유입 가능성
- 밀폐공간을 보유한 시설의 공정 흐름

2) 밀폐공간 분류

밀폐 공간의 분류는 <표 1>과 같이 용도에 따라 체계적으로 구분하였으며, 각 부서의 역할은 다음과 같다. 폐수 및 오수는 연구대상 사업장의 환경 및 시설 관련 부서에서 담당하고, 용수 및 대기오염 방지시설은 환경 관련 부서에서 관리하고 있다. 화학물질은 화학물질 관련 부서가, 전력 점검 시설은 시설 관련 부서가 각각 담당하며, 직접적인 유지 보수는 도급업체에서 관리하고 있다.

<표 1> 밀폐공간 분류 및 관리부서

분류	운영관리	유지보수
폐수 및 오수 관련 시설	환경 및 시설 관리부서	도급업체
용수 관련 시설	환경 관리부서	
대기오염 방지시설		
화학물질 보관 탱크	화학물질 관리부서	
전력점검 시설	시설 관리부서	

3) 밀폐공간 위험도 분석

밀폐공간에서의 위험은 <표 2>에서 보는 바와 같이 크게 산소결핍으로 인한 질식, 화학물질 중독, 추락, 화재·폭발 등, 4개로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 각각의 위험이 발생하는 직·간접 원인이 되는 요인을 바탕으로 밀폐공간의 위험도를 분석하고 평가하였다.

<표 2> 밀폐공간의 위험 분류 및 직·간접 원인

4대 위험	직접원인	간접원인
산소결핍 질식	혐기성 미생물 산소고갈	폐수의 저장기간 또는 유량(흐름) 폐수의 성분 (유기물 함량)
	질식가스 발생 또는 유입	질식가스 발생과정 (화학반응) 가능성 질식가스 배관 연결여부

4대 위험	직접원인	간접원인
화학물질 중독	혐기성 미생물 H ₂ S 발생	폐수의 저장기간 또는 유량(흐름) 폐수의 성분 (유기물 함량)
	연소에 의한 CO 발생	밀폐공간내 연소 및 엔진 유무 밀폐공간 내 용접작업 유무
	내부 화학물질 증발	밀폐공간내 잔류 화학물질 종류 농도 및 양
화재·폭발	인화성 물질	작업 중 점화원 발생 (충격, 용접 등)화 학물질 농도
추락	밀폐공간의 깊이	밀폐공간 깊이 및 높이 상부 상태
	통로 및 사다리	통로 구조 사다리 유무 및 상태

4) 산소 및 유해가스 측정

측정에 이용한 장비는 PID 방식을 이용한 직독식 복합가스측정기를 사용하였으며 가스 또는 증기가 빛을 흡수하고 이를 전기적 신호로 변환하여 감지하는 방식으로 측정 및 분석의 편의성으로 유해가스 농도에 대한 여부를 즉시 확인할 수 있는 일반적인 장비이며 본 연구에서 사용한 직독식 복합가스측정기는 국외 RAE Systems 사의 Multi RAE 직독식 복합가스측정기를 이용하여 산소(O₂), 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 황화수소(H₂S) 4가지 항목에 대해서 측정을 실시하였다. 센서규격은 아래와 같다.

〈표 3〉 직독식 복합가스측정기 규격

종류	측정범위	분해능
O ₂	0 ~ 30%	0.1% Vol
CO	0 ~ 2000ppm	10ppm
H ₂ S	0 ~ 200ppm	0.1ppm
CO ₂	0 ~ 50,000ppm	100ppm

측정 방식은 연구대상 사업장에서 보유하고 있는 밀폐공간 중 사용 시설별, 형태별 및 사용 용도별에 대해 1개소 이상에 대해 직독식 복합가스측정기에 유연성 튜브를 연결하여 측정을 실시하였으며 측정 위치는 밀폐공간 입구, 입구로부터 1m 지점인 외부에서 측정을 실시하였다.

제 3 장 연구 결과

제 1 절 총괄

1) 밀폐공간 현황

연구대상 사업장에서 파악하고 있는 밀폐공간은 총 364개로, <표 4>에서 보는 바와 같이 크게 5가지 유형의 밀폐공간이 있었다.

첫째, 제조공정에서 발생하는 폐수, 오수 및 우수와 관련된 시설이 152개로 가장 많았으며, 전체의 42%를 차지하고 있었다. 구체적으로는 폐수처리를 위한 집수조, 응집조, 반응조, 침전조 등이 119개(33%)로 전체 밀폐공간의 약 1/3을 차지하고 있었다. 그 외에 오수처리 시설이 28개소(8%), 우수차단 시설이 5개소(1%)였다.

둘째, 제조공정 및 근로자의 생활에 필요한 물을 공급하기 위한 시설로 총 95개소(26%)가 있었다. 용수공급과 관련된 밀폐공간으로 총 46개소(13%)가 있었으며, 순수를 보관하거나 저장하는 시설이 46개소(13%), 소화용 물을 보관하는 시설이 3개소(1%)가 있었다.

셋째, 제조공정에서 사용하는 화학물질을 보관하기 위한 시설로 탱크 등이 54개소(15%)가 있다.

넷째, 대기오염 방지시설과 관련된 밀폐공간이 52개소(14%)가 있었다. 대기오염 방지시설은 유지보수를 위해 특정 부위의 내부로 진입하는 공간이다. 주기적으로 내부 진입이 필요한 공간도 있지만 비정정기적으로 유지보수를 위해 진입해야 하는 경우도 있으므로 대기오염 방지시설의 밀폐공간은 고정된 것이 아니라 향후 더 늘어날 수도 있고, 줄어들 수도 있다. 대기오염 방지시설의 내부는 시설이나 장치마다 구조도 다르며 일부는 좁고 길거나 내부 굴곡이 있는 등 구조가 복잡한 것도 있다. 따라서 대기오염 방지시설은 고정된 밀폐공간 개념보다는 내부작업을 실시 할 때마다 그 공간이 산소결핍 등 밀폐 공간의 위험 특성이 있는지 여부를 판단하여 사전 예방조치를 취하는 것이 필요하다.

다섯째, 전기케이블, 통신케이블, 수도관이나 가스관 등의 지하 매설물이 있는 밀폐공간이 11개소(3%) 있었다. 이러한 공간은 보통 맨홀(manhole)이라고 부르고 있다.

밀폐공간에 대해 위치를 기준으로 확인 결과, 옥외 210개소와 옥내 154개소로 구분되고, 지표면을 기준으로 지상 294개소와 지하 70개소로 분류된다. 지상과 지하로 구분할 경우에는 밀폐공간이 지상에 위치하고 있더라도 공장 내부의 특정 층에서는 하부에 위치하여 지하에 위치해 보이는 경우도 있다. 이럴 경우, 지표면을 기준으로 지상과 지하로 분류하는 것보다는 상부 및 하부로 분류하여 관리하는 것이 위험도 평가나 관리방안을 수립하는데 더 적절할 것으로 보인다.

그리고 사업장에서는 산업안전보건기준에 관한 규칙의 별표 18에 따라 밀폐공간을 분류하기보다는 용도별로 분류하는 것이 위험도를 평가하거나 관리하는데 훨씬 더 적합하다. 용도별로 분류하면 각각의 밀폐공간 내부에 있는 물질의 상태나 유해요인을 파악하기 쉽고 관리방안을 마련하기도 쉽기 때문이다. 또한 용도별로 분류하면 밀폐공간을 파악하기도 쉽고, 관리주체도 명확해지는 장점이 있다.

가) 폐수, 오수 및 우수 처리시설의 밀폐공간 현황

폐수처리 관련 시설은 폐수처리 시설, 오수 및 우수차단 시설로 총 152개였으며, 전체 밀폐공간의 약 42%로 가장 많았다.

폐수처리 시설은 옥내와 옥외에 위치한 비율이 유사하나, 오수 및 우수차단 시설은 전부 옥외에 위치하고 있다.

또한 폐수처리 관련 시설의 지하와 지상 위치를 확인 결과, 지하 84개소, 지상 68개소로 다른 용도 시설대비 지하에 위치하는 비율이 높다.

〈표 4〉 용도별 밀폐공간 현황

구분		총계 (%)	옥내·옥외 위치 (%)			지하·지상 위치 (%) ¹⁾		
			계	옥내	옥외	계	지하	지상
폐수, 오수 및 우수 관련 시설	폐수처리	119 (33)	119 (100)	59 (50)	60 (50)	119 (100)	51 (43)	68 (57)
	오수	28 (8)	28 (100)	0 (0)	28 (100)	28 (100)	28 (100)	0 (0)
	우수차단	5 (1)	5 (100)	0 (0)	5 (100)	5 (100)	5 (100)	0 (0)
	소계	152 (42)	152 (100)	59 (39)	93 (61)	152 (100)	84 (55)	68 (45)
물 저장 관련 시설	용수	46 (13)	46 (100)	30 (65)	16 (35)	46 (100)	17 (36)	29 (63)
	순수	46 (13)	46 (100)	30 (65)	16 (35)	46 (100)	1 (2)	45 (98)
	소화	3 (1)	3 (100)	1 (33)	2 (67)	3 (100)	1 (33)	2 (67)
	소계	95 (26)	95 (100)	61 (64)	34 (36)	95 (100)	19 (20)	76 (80)
화학물질 보관시설		54 (15)	54 (100)	35 (65)	19 (35)	54 (100)	7 (13)	47 (87)
대기오염 방지시설		52 (14)	52 (100)	0 (0)	52 (100)	52 (100)	0 (0)	52 (100)
전력점검 시설		11 (3)	11 (100)	0 (0)	11 (100)	11 (100)	11 (100)	0 (0)
총계		364 (100)	364 (100)	154 (42)	210 (58)	364 (100)	70 (19)	294 (81)

1) 지하·지상은 구분은 지표면을 기준으로 함

(1) 폐수 처리시설

폐수는 크게 산폐수, 유기폐수, 박리폐수 및 종합폐수 4가지로 나뉜다. 이는 일반적으로 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 방류수조를 거치면서 정화되어 외부로 배출된다. 그 중 침전조에서 걸러지는 슬러지는 농축조 및 믹싱탱크 등의 탈수 과정을 거쳐 위탁업체에 의해 외부로 반출된다.

산폐수의 양에 따라 pH조정 후 종합폐수 집수조에서 혼합처리되기도 하고, 일부 유기폐수는 무산소조 및 호기조 등 미생물을 이용하여 별도 처리 과정을 거쳐 다시 종합폐수와 혼합처리 되기도 한다.

집수조는 폐수가 중력에 따라 흘러가게 하거나 악취를 최소화하기 위해 대부분 지하에 위치하는 반면, 응집조, 침전조 및 방류수조는 약품의 투입과 설비의 유지보수 등을 위해 지상에 위치한다.

조정조는 약품을 이용하여 pH를 조정하는 시설로 주요 약품은 황산알루미늄, 황산 제2철, 황산으로 pH 조정 목적을 위해 사용된다. 반응조에서는 폐수 중 불산(HF) 등을 제거하기 위해 수산화나트륨, 소석회, 소포제를 넣어 CaF_2 등의 불용성 물질을 생성하는 화학반응을 일으킨다. 이러한 반응이 일어난 후 폐수는 응집조로 보내진다. 응집조에서는 폴리머 등을 투입하여 반응조에서 생긴 불용성 물질을 응집시켜 더 큰 알갱이 형태로 만든다. 이후 침전조에서는 불용성 알갱이가 가라 앉아 바닥에 슬러지 형태의 고형 물질로 쌓이게 되며, 이러한 슬러지를 제거하여 폐수를 정화하는 것이다.

한편 박테리아를 이용하여 폐수의 불순물을 분해하는 무산소조는 박테리아 증식을 위해 글리올(A)를 사용한다.

〈표 5〉 폐수 처리시설 약품 사용 현황

공정	화학물질명
조정조	황산알루미늄, 황산 제2철, 황산
반응조	수산화나트륨, 소석회, 소포제
응집조	폴리머
무산소조	글리올 A

(가) 산폐수 처리시설

산폐수 처리시설은 폐수를 조정조로 이동 후 pH를 중성(약 pH 7)으로 조정하여 종합폐수 집수조로 보내거나 산 반응조, 산 응집조, 산 침전조 과정을 거친다. 폐수처리가 어려운 산폐액에 대해서는 탱크 보관 후 위탁 처리한다. 산폐수 처리시설 밀폐공간 종류는 다음과 같다.

〈표 6〉 산폐수 처리시설 밀폐공간 종류

분류	종류	작업내용 및 약품	
폐수 처리	집수조	작업내용	제조공정, 공기정화장치에서 발생한 폐수 집수하는 시설
		오염원 및 약품	산 및 알칼리폐수
	조정조	작업내용	운전조건에 따라 약품을 사용하여 pH를 조정하는 시설
		오염원 및 약품	산 및 알칼리폐수, 황산70%, 황산알루미늄, 황산 제2철
	반응조	작업내용	교반기를 이용하여 응집 반응 유도 시설
		오염원 및 약품	산 및 알칼리폐수, 반송 슬러지, 액상소석회, 가성소다25%
	응집조	작업내용	반응조에서 응집된 오염물질이 자연 침강하여 슬러지 형태로 분리·제거될 수 있도록 고형물질을 형성하기 위한 시설
		오염원 및 약품	산 및 알칼리폐수, 폴리머
	침전조	작업내용	형성된 고형물질을 중력에 의해 자연침강시켜 고체와 액체로 분리하고 슬러지를 제거하는 시설
		오염원 및 약품	산 및 알칼리폐수
폐액 처리	탱크	작업내용	제조공정에서 발생하는 산폐액을 회수하여 저장하는 시설이며 저장된 폐액은 위탁 처리
		오염원 및 약품	산폐액, 질산폐액, 유산동폐액 등

산폐수 처리시설의 밀폐공간은 총 36개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 27개소에 대해 현황 분석하였다. 폐액 집수조 2개소는 집수 후 위탁처리하고 있으며, 조정조는 6개소이나 3개 설비는 유희설비이다. 대부분 상시 상부가 개방되지 않은 상태이며 상시 상부가 개방된 곳은 반응조로 2개소가 있다. 주요 작업은 FRP Lining, 배관 공사, 펌프 교체 작업 등이며 일반적으로 12 ~ 36개월 주기로 이루어지고 있다.

〈표 7〉 산폐수 처리시설 밀폐공간 현황

종류	수	상부 개방 (수)	작업주기* (월)
집수조	5	0	12
조정조	3	2	36
반응조	1	0	12
응집조	1	0	12
침전조	1	0	12
탱크	16	0	36
계	27		

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태 및 크기에 따라 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 탱크를 〈표 8〉와 같이 8가지로 분류하였다. 형태는 육면체와 실린더 두 가지 형태이고 깊이는 대부분 1.2~5.8m이다. 전체 용량은 침전조가 가장 크다.

〈표 8〉 산폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태	수	크기(m)			용량(m³)
			깊이	가로	세로	
집수조	육면체	5	5.8±0.6	6.4±1.9	6.3±2.7	233±111

종류	형태	수	크기(m)			용량(m³)
			깊이	가로	세로	
조정조	육면체	3	5.1±1.6	3.9±0.9	3.8±0.5	68±13.9
반응조	육면체	1	3.2	5.0	3.3	52
응집조	육면체	1	3.2	5.0	3.3	52
침전조	실린더	1	5.5	(반지름) 7.2		883
탱크	육면체	2	2.2±0.1	1.8±0.5	2.8±2.2	12±11.6
	실린더	대	8	4.1±0.3	(반지름) 1.7±0.3	38±13.2
		소	6	1.2±0.1	(반지름) 1.1±0.2	5±2.1
계		27				

(나) 유기폐수 처리시설

유기폐수 처리시설은 주로 알카리 폐수, pH가 중성으로 조절된 폐수를 혼합 처리한다. 일부 미생물을 이용한 생물학적 처리 방식을 사용하고 있어 다른 폐수 처리 공정과는 다른 점이 있다. 밀폐공간 종류는 다음과 같다.

〈표 9〉 유기폐수 처리시설 밀폐공간 종류

분류	종류	작업내용 및 약품	
폐수 처리	집수조	작업내용	공장 내에서 발생한 유기폐수를 집수하여 저장하는 시설
		오염원 및 약품	유기폐수, 유·무기 농축수, 탈수 여액
	조정조	작업내용	약품을 이용하여 pH를 조정하는 시설

분류	종류	작업내용 및 약품	
	반응조	오염원 및 약품	유기폐수, 황산70%, 황산알루미늄, 황산 제2철
		작업내용	후단 응집·침전시설 운영에 적절한 pH로 조절하는 시설
	응집조	오염원 및 약품	유기폐수, 중아황산나트륨, 액상소석회
		작업내용	응집해 침강성이 큰 입자를 형성하도록 하는 시설
	침전조	오염원 및 약품	유기폐수, 폴리머
		작업내용	중력에 의해 자연 침강시켜 고액을 분리, 제거하는 시설
	1,2차 처리 수조	오염원 및 약품	유기폐수
		작업내용	무산소조 전 유기계 폐수를 저장하는 시설
	무산 소조	오염원 및 약품	반송 슬러지, 인산, 글루올 A, 소포제
		작업내용	혐기성 미생물을 이용하여 폐수 내 존재하는 오염물질을 제거하는 시설
	호기조	오염원 및 약품	유기폐수, 소포제
		작업내용	미생물을 이용하여 폐수 내 존재하는 오염물질을 제거하는 시설

유기폐수 처리시설의 밀폐공간은 총 29개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 25개소에 대해 현황을 분석하였다. 무산소조는 9개소이나 1개 설비는 유희설비이다. 대부분 상시 개방된 상태이며, 미생물 환경 조건을 고려하여 무산소조와 호기조는 상시 개방되지 않는다. 주요 작업은 FRP Lining, 배관 공사, 펌프 교체 작업 등이며 일반적으로 12개월 주기로 이루어지고 있다.

〈표 10〉 유기폐수 처리시설 밀폐공간 현황

종류	수	상부 개방 (수)	작업주기* (월)
집수조	2	0	12
조정조	1	1	12
반응조	2	2	12
응집조	1	1	12
침전조	3	1	12
1,2차 처리수조	2	1	12
무산소조	8	0	12
호기조	6	0	12
계	24		

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태 및 크기에 따라 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 1,2차 처리수조, 침전조, 호기조를 〈표 11〉와 같이 9가지로 분류된다. 형태는 육면체와 실린더 두 가지이고, 형태이고 깊이는 대부분 2.5~5m이다. 침전조는 상대적으로 깊이는 작으나 용량은 가장 크다. 생물학적 처리 방식을 사용하는 무산소조 및 호기조는 상대적으로 많은 수의 밀폐공간을 가지고 있다.

〈표 11〉 유기폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태	수	크기(m)			용량(m³)*
			깊이	가로	세로	
집수조	육면체	2	5.0±0.0	8.1±1.3	12.4±2.5	493±21
조정조	육면체	1	5.0	6.7	6.8	228

종류	형태	수	크기(m)			용량(m³) *
			깊이	가로	세로	
반응조	육면체	2	5.0±0.0	6.7±0.0	6.9±0.0	232±0.6
응집조	육면체	1	5.0	6.7	6.9	233
침전조	육면체	2	3.0±0.0	15.1±0.1	15.1±0.1	686±10.4
	실린더	1	2.5	(반지름) 12.5		1,227
1,2차 처리수조	육면체	2	4.6±0.6	10.7±11.2	19.3±6.1	1,189±1,430
무산소조	육면체	8	5.0±0.0	8.4±1.1	8.3±3.1	342±108
호기조	육면체	6	4.8±1.1	12±10.3	8.1±3.8	338±135
계		25				

* 일부 설계 용량이 아닌 운영 중 실제 용량

(다) 박리폐수 처리시설

박리폐수 처리시설은 도금 후 표면 이물질 제거를 위해 사용된 화학 물질을 처리하는 시설이다. 현재 박리 집수조(용량 133.0m³) 1개소에 집수된 후, 산폐수 집수조를 거쳐 처리된다. 폐수 처리가 어려운 폐액은 탱크에 보관 후 위탁 처리한다.

〈표 12〉 박리폐수 처리시설 밀폐공간 종류

분류	종류	작업내용 및 약품	
폐수 처리	집수조	작업내용	제조공정에서 발생한 박리폐수를 집수하는 시설

분류	종류	작업내용 및 약품	
		오염원 및 약품	박리폐수, 농축수, 탈수액
폐액 처리	탱크	작업내용	제조공정에서 발생하는 박리폐액을 회수하여 저장하는 시설
		오염원 및 약품	박리폐수

박리폐수 처리시설의 밀폐 공간은 총 13개소이다. 집수조 1개소를 포함한 조정조, 반응조, 응집조, 침전조는 비상 시에만 사용되는 유틸 시설이며, 스웰러액 집수조 1개소는 집수 후 위탁 처리하고 있다. 집수조 및 탱크를 총 7개소에 대한 현황을 분석한 결과, 대부분의 공간은 침전조를 제외하고 상시 밀폐된 상태이다. 주요 작업은 FRP 라이닝, 배관 공사, 펌프 교체 작업 등이며, 일반적으로 12개월 주기로 이루어진다.

종류별 형태 및 크기에 따라 집수조, 탱크를 <표 14>와 같이 3가지로 분류하였다. 형태는 육면체와 실린더 두 가지이고, 형태이고 깊이는 2.3~5.0m이다. 전체 용량은 다른 폐수처리 시설 대비 상대적으로 적다.

<표 13> 박리폐수 처리시설 밀폐공간 현황

종류	수	작업주기(월)*
집수조	2	12
탱크	5	12
통계	7	

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

〈표 14〉 박리폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태	수	크기(m)			용량(m ³)*
			깊이	가로	세로	
집수조	육면체	2	5.3±0.4	9.5±0.0	2.3±0.8	111.5±30.4
탱크	육면체	3	4.1±0.2	(반지름) 1.9±0.2		45.1±9.1
	실린더	2	2.3±0.0	2.0±0.0	2.0±0.0	11.0±0.0
계		7				

* 설계 용량이 아닌 운영 중 실제 용량

(라) 종합폐수 처리시설

종합폐수 처리시설은 생활용 폐수, pH가 조절된 화학물질 폐수 등을 처리한다. 모든 종류의 폐수가 혼합되어 처리되는 시설로 다른 폐수 처리시설에 비해 밀폐공간 용량이 가장 크다. 밀폐공간 종류는 <표 15>와 같다.

<표 15> 종합폐수 처리시설 밀폐공간 종류

분류	종류	작업내용 및약품	
폐수 처리	집수조	작업내용	제조공정 및 각 종 시설에서 발생한 폐수를 집수하는 시설
		오염원 및약품	일반폐수, 농축수, 1차 처리수, 2차 처리수
	조정조	작업내용	수처리 운전조건에 따라 약품을 이용하여 pH를 조정하는 시설
		오염원 및약품	일반폐수, 반송슬러지, 황산알루미늄, 황산 제2철
	반응조	작업내용	pH 조정 및 HF폐수에 존재하는 불소이온이 칼슘이온과 중화반응하여 불용성 염인 CaF ₂ 로 되도록 하는 시설
		오염원 및약품	일반폐수, 액상소석회, 가성소다 25%
	응집조	작업내용	자연침강하여 슬러지 형태로 분리·제거할 수 있도록 고형물질을 형성하기 위한 시설
		오염원 및약품	일반폐수, 반송슬러지, 폴리머
	침전조	작업내용	형성된 고형물질을 중력에 의해 자연침강시켜 고체와 액체로 분리하고 슬러지를 제거하는 시설
		오염원 및약품	일반폐수
	농축조	작업내용	슬러지의 부피를 감소시켜서 탈수기의 운전상의 안정화 및 처리효율을 높이기 위해서 수분을 제거하는 시설
		오염원 및약품	일반폐수, 침전슬러지
폐액 처리	1,2차 pH 조정조	작업내용	약품을 이용하여 pH를 조정하는 시설
		오염원 및약품	일반폐수, 가성소다, 황산
	방류수조	작업내용	최종 처리수를 저장 및 방류구로 이송
폐액 처리	탱크	작업내용	폐액을 위탁처리하기위하여 보관하는 시설

종합폐수 처리장의 밀폐공간은 총 41개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 34개소에 대해 현황을 분석하였다. 집수조, 탱크, 방류수조는 대부분 상부가 개방되지 않은 상태이다. 주요 작업은 처리수조 보수공사, 배관공사, 펌프 교체 작업 등이며 일반적으로 6~12개월 주기로 이루어지고 있다.

〈표 16〉 종합폐수 처리시설 밀폐공간 현황

종류	수	상부 개방 (수)	작업주기* (월)
집수조	3	0	12
조정조	3	1	6~12
반응조	5	2	6~12
응집조	3	1	6~12
침전조	3	3	12
농축조	4	4	12
1,2차 pH조정조	2	0	6
방류수조	4	0	3~12
탱크	7	0	12~36
계	34		

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태, 깊이 및 용량에 따라 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 농축조, 1,2차 pH조정조, 방류수조, 탱크를 〈표 17〉와 같이 10가지로 분류하였다. 형태는 육면체와 실린더의 두 가지이고, 깊이는 약 2.5~5.0m이다. 침전조는 상대적으로 깊이는 작으나 가장 큰 용량을 가지고 있다.

〈표 17〉 종합폐수 처리시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태	수	크기(m)			용량(m³)
			깊이	가로	세로	
집수조	육면체	3	5.7±0.8	7.4±4.0	15.8±9.8	722.6±570.7
조정조	육면체	3	4.0±0.9	4.4±2.0	4.7±2.0	104.3±111.1
반응조	육면체	대	5.0±0.0	6.7±0.0	7.0±0.2	235.8±5.3
		소	3.4±0.3	3.2±0.2	3.4±0.5	37.0±12.1
응집조	육면체	3	4.0±0.9	4.4±2.0	5.2±2.0	111.5±108.4
침전조	실린더	3	2.8±0.3	(반지름) 8.9±3.1		730.2±429.9
농축조	실린더	4	3.3±0.2	(반지름) 3.4±0.5		120.3±32.7
1,2차 pH조정조	실린더	2	3.0±0.0	4.3±0.0	4.0±0.0	52.0±0.0
방류수조	육면체	4	4.0±1.2	12.1±5.9	11.4±3.9	704.7±608.1
탱크	실린더	7	3.8±1.3	(반지름) 1.5±0.4		30.6±19.4
계		34				

(2) 오수 시설

오수시설은 맨홀 형태의 밀폐공간이 있으며, 주요 작업은 청소 및 점검, 펌프 보수 등 내부 설비 유지를 위해 출입이 이루어지고 있다. 또한 상시 원거리 모니터링이 가능하여 주기적인 현장 작업보다는 비주기적인 형태로 작업이 이루어지고 있다.

오수시설 밀폐공간은 총 28곳으로 모두 외부에 위치하고 있다. 오수시설 맨홀의 경우 작업 공간은 실린더 형태이나 오염원의 유입과 배출이 이루어지는 장소로 크기 확인에는 어려움이 있었다.

(3) 우수 차단시설

우수차단 시설은 집수조와 맨홀 형태의 밀폐공간이 있다. 1일 약 51톤을 처리할 수 있는 용량을 갖추고 있고 특성상 모두 외부에 위치하고 있다. 주요 작업은 청소 및 점검, 펌프 등 내부 설비 유지보수이다.

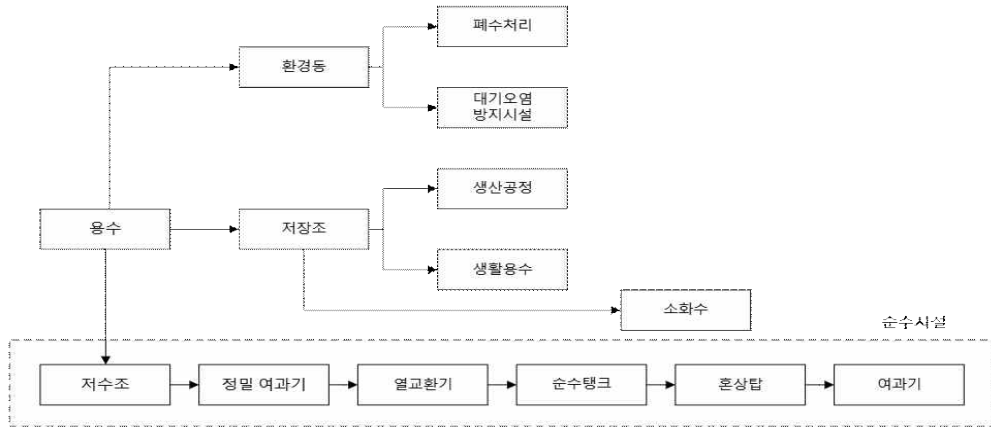
우수시설 밀폐공간은 총 5곳으로 모두 외부에 위치하고 있다. 오염원의 유입과 배출이 이루어지는 장소로 크기 확인에는 어려움이 있었다.

나) 용수관련 시설의 밀폐공간 현황

용수관련 시설은 폐수처리, 공기정화장치, 생산공정, 생활용수, 소방용수 및 순수관련 시설로 총 95개이다. 이는 밀폐공간 전체 대비 26%이다.

용수, 순수 시설은 옥내에 위치하는 비율이 높으며 소화 시설은 옥외에 위치하는 비율이 높다.

또한 용수관련 시설 지하와 지상 위치를 확인 결과, 지하 19개소, 지상 76개소로 지상에 위치하는 비율이 높다.



[그림 2] 용수관련시설 공정 흐름도

(1) 용수 시설

용수시설의 밀폐공간은 총 46개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 19개소에 대해 현황을 분석하였다. 저수조를 제외한 탱크 및 맨홀은 밀폐된 형태이다. 주요 목적은 공장 가동 시 안정적인 용수 공급 및 압력을 유지하기 위한 용도로 사용되고 있다.

주요 작업은 내부 보수 및 청소 작업이며, 일반적으로 저수조는 5년에 1회, 탱크는 연간 1~2회 주기로 이루어진다. 이 중 저수조 검침용 맨홀은 일일 작업이 이루어지고 있으며, 직접적인 출입이 아닌 외부에서 이상 상태를 확인하거나, 내부 진입 후 작업이 이루어진다.

〈표 18〉 용수 시설 밀폐공간 현황

종류	수	상부 개방(수)	작업주기(월)*
저수조	7	4	6~60
탱크	10	0	12
맨홀	2	0	1
계	19		

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태, 깊이 및 용량에 따라 저수조, 탱크, 맨홀을 <표 19>와 같이 7가지로 분류하였다. 형태는 육면체와 실린더의 두 가지이고, 깊이는 저수조 2.7~9.0m, 탱크 1.8~3.5m, 맨홀 2.2m이다. 깊이에 따른 용량 차이가 다른 시설대비 가장 크다.

<표 19> 용수 시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태		수	크기(m)			용량(m³)*
				깊이	가로	세로	
저수조	육면체	대	1	9	45	44	16,000
		중	5	7.9±1.0	13.9±5.9	23.5±10.2	2,349±2,075
		소	1	2.7	4.5	2.8	30
탱크	육면체		2	2.7±0.4	4.8±4.0	2.9±1.3	31.0±26.9
	실린더	대	6	3.5±1.0	(지름) 1.3±0.3		17.8±4.3
		소	2	1.8±0.0	(지름) 0.9±0.0		5.0±0.0
맨홀	육면체		2	2.2±0.3	3.9±2.0	3.8±3.3	42.9±50.8
계			19				

* 일부 설계 용량이 아닌 운영 중 실제 용량

(2) 순수 시설

순수 시설의 밀폐공간은 총 46개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 12개소에 대해 현황을 분석하였다. 최초 정수 작업 후 순수 생산을 위한 원수를 저수조에 보관하고 있다. 0.1~1 μ m 기공의 정밀 여과기를 통해 순수 내 부유 물질 및 미세 입자를 제거하고, 혼상탑에서 염산과 수산화나트륨을 이용하여 순수 내 이온을 제거한다. 순수는 저장 탱크에 보관되며 제조 공정에서 사용된다.

탱크 시설은 오염원 유입 방지를 위해 불활성 기체(질소) 가압상태이다

주요 작업은 내부 점검 및 수지 교환이며, 일반적으로 1회/1년 정도 주기로 이루어지고 있다.

〈표 20〉 순수 시설 밀폐공간 종류

종류	작업내용 및 약품	
저수조	작업내용	순수 생산용 처리수를 저수하기 위해 저장하는 시설
	오염원 및 약품	잔류 염소 환원제
순수 탱크	작업내용	순수 생산용 공업용수(처리수)를 저수하기 위해 저장하는 시설
혼상탑	작업내용	물 속의 양이온 및 음이온을 제거하여 전기 전도도를 낮추고, 물의 순도를 향상시키는 시설
여과기	작업내용	순수 내 부유물질, 콜로이드 등 미세입자를 제거하는 시설
	오염원 및 약품	필터

〈표 21〉 순수 시설 밀폐공간 현황

종류	수	작업주기 (월) *
저수조	1	6
탱크	11	12
계	12	

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태, 깊이 및 용량에 따라 저수조, 탱크를 〈표 22〉와 같이 5가지로 분류하였다. 형태는 육면체와 실린더의 두 가지 형태이고, 깊이는 저수조가 7.0m, 탱크는 3.0~5.0m이다.

〈표 22〉 순수 시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태		수	크기(m)			용량(m³) *
				깊이	가로	세로	
저수조	육면체		1	7.0	12.9	6.6	595.0
탱크	육면체		2	2.5±1.0	9.8±10.5	5.6±4.5	145.0±179.6
	실린더	대	2	6.5±0.0	(반지름) 3.5±0.0		200±0.0
		중	6	3.8±0.4	(반지름) 1.3±0.3		19.5±11.3
		소	1	1.6	(반지름) 0.9		3.0
계			12				

* 일부 설계 용량이 아닌 운영 중 실제 용량

(3) 소화 시설

소화 시설의 밀폐공간은 총 3개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 2개소에 대해 현황을 분석하였다. 소화시설은 화재 시 비상용 소화 용수를 저장해 놓은 시설로 저수조 형태이다. 주요 작업은 수질검사 및 내부 청소 작업이며, 일반적으로 1회/1년 정도 주기로 이루어지고 있다.

〈표 23〉 소화 시설 밀폐공간 현황

종류	수	작업주기 (월)*
저수조	2	12

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류는 저수조 1개이며, 형태는 육면체이고, 일반적으로 깊이는 1.8m이다.

〈표 24〉 소화 시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태	수	크기(m)			용량 (m³)
			깊이	가로	세로	
저수조	육면체	2	1.8±0.4	7.8±0.4	5±0.0	67.5±10.6

다) 화학원료보관 시설의 밀폐공간 현황

화학원료보관 시설의 밀폐공간은 총 54개소이다. 이는 밀폐공간 전체 대비 15%이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 42개소에 대해 현황을 분석하였다.

옥내 35개소, 옥외 19개소로 옥외 위치하는 비율이 높다. 또한 지하 7개소, 지상 47개소로 대부분이 지상에 위치하고 있다.

제조공정에서 사용되는 화학물질을 안전하게 보관하는 장소이다. 유해물질 누출 및 화재·폭발 방지를 위해 질소 가압 상태이다. 재질은 주로 산 및 알칼리류에 강한 고밀도 폴리에틸렌으로 이루어져 있다. 주요 작업은 탱크 내 펌

프 보수 작업, 원료 교체 시 세척작업 등이며 일반적으로 1~2회/2년 정도 주기로 이루어지고 있다.

〈표 25〉 화학원료보관 시설 밀폐공간 현황

종류	수	작업주기 (월)*
탱크	42	12~24

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태, 깊이 및 용량에 따라 저수조, 탱크를 〈표 26〉와 같이 3가지로 분류하였다. 형태는 육면체와 실린더의 두 가지이고, 깊이는 1.8m에서 4.4m까지 다양하다. 깊이가 평균 4.4m인 실린더 형태의 밀폐공간이 많다. 원료의 오염 및 화재·폭발을 방지하기 위해 질소 배관이 연결하여 질소 가압상태를 유지하고 있다.

〈표 26〉 화학원료보관 시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태		수	크기(m)			용량(m³)*
				깊이	가로	세로	
탱크	육면체		7	2.6±0.5	1.9±0.4	2.1±0.4	10±4.0
	실린더	대	27	4.4±0.9	(반지름)	1.6±0.3	35±18.1
		소	8	1.9±0.9	(반지름)	0.7±0.2	3±3.3
계			42				

* 일부 설계 용량이 아닌 운영 중 실제 용량

라) 대기오염 방지시설의 밀폐공간 현황

대기오염 방지시설의 밀폐공간은 총 52개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 27개소에 대해 현황을 분석하였다. 모든 시설은 외부, 지상에 위치하고 있다.

사용 목적은 제조공정에서 배출되는 오염원을 유입 후 공업용수 또는 처리수를 이용한 흡수탑과 활성탄을 이용한 흡착탑과 백필터 방식을 사용하고 있다. 보유한 용량은 $87\text{m}^3/\text{min}$ 백필터부터 $850\text{m}^3/\text{min}$ 흡착탑까지 다양하다.

주요 작업은 점검 및 활성탄 교체, 내부 보수 등이며 일반적으로 1회/1년 정도 이루어지고 있었다.

〈표 27〉 대기오염 방지시설의 밀폐공간 현황

종류	수	작업주기 (월)*
대기오염 방지시설	27	12

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

종류별 형태, 깊이 및 용량에 따라 저수조, 탱크를 〈표 28〉와 같이 3가지로 분류하였다. 흡착탑은 육면체 형이며, 흡수탑은 실린더 형태이다. 깊이는 흡착탑이 약 3.5m 정도이며, 흡수탑의 경우 약 7.0~8.1m였다.

〈표 28〉 대기오염 방지시설의 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태		수	크기(m)			용량(m³) *
				깊이	가로	세로	
대기오염 방지시설	흡착탑		10	3.5±0.9	3.6±1.0	4.3±1.7	47.7±10.9
	흡수 탑	대	9	8.1±0.0	(반지름) 2±0.0		101.0±0.0
		소	8	7.0±0.4	(반지름) 1.1±0.3		29.5±13.0
계			27				

* 일부 설계 용량이 아닌 운영 중 실제 용량

마) 전력점검 시설의 밀폐공간 현황

전력점검 시설의 밀폐공간은 총 11개소이다. 일부는 형태에 따라 규격 확인이 어려워 10개소에 대해 현황을 분석하였다. 모든 시설은 외부, 지하에 위치하고 있다.

주요 작업은 사전에 초고압 케이블 선로 진단이며 일반적으로 1회/2년 정도 이루어지고 있다.

〈표 29〉 전력점검 시설 밀폐공간 현황

종류	수	작업주기(월)*
맨홀	10	24

* 정기적인 작업이 아닌 예상 작업 주기

밀폐공간 1개소에 2개의 출입구가 있고, 입구는 원형이고 내부는 육면체인 비정방형의 맨홀이다. 깊이는 2.7m이며 내부에서 용량은 약 89.0m³이다.

〈표 30〉 전력점검 시설 밀폐공간 형태 및 크기

종류	형태	수	크기(m)			용량(m³)
			깊이	가로	세로	
맨홀	비정방형	10	2.7	3.0	11.0	89.0

제 2 절 밀폐공간의 특성 분석

밀폐공간은 자연적인 환기가 불충분하여 유해가스가 축적되거나 구조적인 특성상 출입 또는 탈출이 어려운 구조로, 근로자의 상시 출입이 제한된 장소를 말한다. 산업안전보건 분야에서 밀폐공간을 특별하게 취급하는 이유는 밀폐공간에서의 작업은 사고나 건강장해를 일으키는 위험성이 높기 때문이다. 대표적으로 산소결핍으로 인한 질식, 혐기성 미생물 증식으로 인한 황화수소 중독, 연소 등으로 인한 일산화탄소 중독, 질식성 가스 유입으로 인한 질식, 내부에 보관 중이던 유해화학물질 누출로 인한 급성중독, 인화성 가스로 인한 폭발·화재사고, 그리고 밀폐공간 출입 시 추락사고 등이다.

이러한 밀폐공간의 위험은 모든 밀폐공간에서 동일한 것이 아니라 밀폐공간의 특성에 따라 존재 여부 또는 경중이 다르게 나타난다. 따라서 밀폐공간 작업의 안전을 확보하기 위해서는 사전에 밀폐공간의 위험성을 정확하게 파악해야 한다. 밀폐공간의 위험성을 미리 파악하기 위해서는 평소에, 또는 사전에 밀폐공간별로 유해·위험요인의 발생가능성을 파악하는 것이 필요하다. 밀폐공간별로 유해·위험요인의 발생가능성은 밀폐공간의 특성에 기인된다. 따라서 밀폐공간에서의 작업 안전을 확보하기 위해서는 밀폐공간의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

밀폐공간 작업의 위험도에 영향을 미치는 밀폐공간의 특성은 <표 31>에서 보는 바와 같이 공간적 특성, 내용물 특성, 질식가스 유입특성, 내부에서의 연소특성 등이 있다. 먼저, 밀폐공간의 공간적 특성으로는 크기, 깊이, 출입구(크기, 위치), 상부개방 여부, 구조의 복잡성 등이 있다. 이러한 공간적 특성은 환기량, 잔류물의 양, 추락, 출입구와의 거리, 구조용이성 등에 영향을 미친다.

내용물의 특성으로는 유기물 함유량, 머무름 시간(유량), 독성, 인화성 등이 있고, 이러한 특성은 혐기성 미생물의 증식, 유해물질 누출, 화재, 폭발 등에 영향을 미친다. 그 외에 질식성 배관 등의 연결 특성과 내부 연소 관련 특성이 있으며, 이들은 각각 질식성 가스 유입 및 산소결핍과 CO 발생 등에 영향을 미친다.

〈표 31〉 안전보건 위험도에 영향을 미치는 밀폐공간의 특성

구분	특성	영향을 받는 요인
공간적 특성	크기	환기량, 잔류물의 양
	깊이	환기량, 추락, 구조용이성
	출입구(크기, 위치)	환기량, 출입구와의 거리, 구조용이성
	상부개방 여부	환기량, 구조용이성
	구조의 복잡성	환기량, 구조용이성
내용물 특성	유기물 함유량	혐기성 미생물 증식
	머무름 시간	유량, 혐기성 미생물 증식
	독성	유해물질 노출
	인화성	화재, 폭발
가스배관 연결	질식성 가스배관 연결	질식성 가스 유입, 산소결핍
연소과정	내부 연소	CO 발생

1) 폐수, 오수 및 우수 처리시설 밀폐공간의 특성

가) 폐수 처리 시설

(1) 산폐수 처리시설

산폐수 처리시설은 제조 공정에서 사용되는 산세액 및 세척제 등을 처리하는 시설이다. 이 시설의 폐수는 먼저 pH 농도를 확인하여 산 집수조에 폐수를 모은 후, 산 조정조 등의 처리 과정을 거친다. 일부 집수조와 조정조의 폐수는 pH 조정을 거친 후 종합폐수 집수조로 흘러간다. 집수조와 방류수조에서는 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), Cu 등의 수준을 확인한다.

(가) 공간적 특성

밀폐공간의 공간적 특성은 깊이, 용량, 사다리 설치 유무, 구조용 삼각대 설치 유무에 따라 위험도가 다르게 나타날 수 있다. 깊이는 환기, 추락, 구조용이성에 영향을 주며, 용량은 유체 흐름과 혐기성 미생물 서식, 사다리 설치

유무는 추락 위험도, 구조용 삼각대 설치 유무는 긴급상황 발생 시의 구조 용이성에 영향을 미친다.

집수조는 총 5개소로 깊이는 5.0m에서 6.4m, 용량은 86m³에서 337m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

조정조는 총 3개소로, 깊이는 3.2m에서 6m, 용량은 평균 52m³에서 76m³이다. 지하에 위치한 조정조 2개소를 제외하고는 작업 시에만 상부가 개방된다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

반응조는 1개소로, 깊이는 3.2m, 용량은 52m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

응집조는 1개소로, 깊이는 3.2m, 용량은 52m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 삼각대 사용이 가능한 구조이다

침전조는 1개소로, 깊이는 5.5m, 용량은 883.0m³이다. 상부가 항상 개방된 상태이다. 형태는 실린더형이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구 면적이 넓어 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다

탱크는 총 16개소로, 깊이는 1.2m에서 4.3m, 용량은 2.0m³에서 50.3m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 형태는 육면체와 실린더 두 가지이며, <표 8>의 분류 결과, 실린더 형태의 소형 탱크는 깊이가 작아 추락 위험성이 없다. 고정식 사다리는 없으며, 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

(나) 내용물 특성

내용물 특성은 내용물, 유량, 화학물질 독성, 인화성 물질의 요인에 따라 노출된 위험도가 다르다. 유기물 함유량 및 유량은 혐기성 미생물 서식에 영향

을 미치며, 화학물질 독성은 유해물질 노출, 인화성 물질은 화재 및 폭발 가능성에 영향을 준다.

집수조는 용량 296m³ 1개소 기준으로 산폐수 약 1,147톤/일을 집수한 후 조정조로 보낸다. Hydraulic Retention Time (HRT)은 6.2시간으로 폐수가 고여 있지 않고, BOD, TOC, T-N, T-P, Cu 등 농도 확인절차를 거치고 있어, Cu 등 화학물질 독성으로 인한 미생물 서식이 어려운 환경이다.

조정조 1개소 기준 용량 52.0m³일 경우, 집수조를 거친 처리수가 유입된다. 폐수와 투입 약품 약 2,022 톤/일을 반응조로 보낸다. HRT는 37분으로, 폐수가 고여 있지 않다. 집수조 관리 기준에 따라 황산, 황산알루미늄 등의 약품이 투입되며 화학물질 독성으로 인해 미생물이 서식하기 어려운 환경이다.

반응조 1개소 기준 용량 52.0m³일 경우, 조정조에서 유입된 폐수와 투입 약품 약 2,022 톤/일을 응집조로 보낸다. HRT는 37분으로 폐수가 고여 있지 않다.

응집조 1개소 기준 용량 52.0m³일 경우, 반응조에서 유입된 폐수와 투입 약품 약 2,022 톤/일을 침전조로 보낸다. HRT는 37분으로 폐수가 고여 있지 않다.

침전조 1개소 기준 용량 883.0m³일 경우, 응집조에서 유입된 1,786톤/일의 폐수를 종합 집수조로, 그 외 발생한 슬러지를 236톤/일을 농축조로 보낸다. HRT는 10.5시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

탱크는 제조 공정에서 발생한 폐액을 보관 후 위탁 처리한다. 화학물질 독성으로 인해 미생물 서식이 어려운 환경이다.

(다) 가스배관 연결

밀폐공간에서 가스배관 연결은 가스 유입으로 인한 산소결핍, 화학중독 등의 위험도를 평가하는 데 중요한 영향을 미친다.

산폐수 처리과정에서는 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(라) 연소과정

밀폐공간에서의 연소 과정은 일산화탄소 발생에 영향을 미쳐 산소결핍 및 CO 중독 위험에 영향을 준다.

산폐수 처리과정에서 내부 연소과정이 없다.

(2) 유기폐수 처리시설

유기폐수 처리시설은 제조 공정에서 사용한 알칼리 폐액을 처리하는 시설로, 각 처리장에서 1일 약 3,826톤을 처리한다. 유기폐수는 pH 농도로 구분하며, 집수조와 방류수조 및 1, 2차 처리수조에서는 Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Nitrogen (T-N), Total Phosphorus (T-P), Cu 등을 확인한다.

(가) 공간적 특성

집수조는 2개소로, 깊이가 5m이며 용량은 478.3m³에서 507.7m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

조정조는 총 1개소로, 깊이가 5m이며 용량은 227.8m³이다. 평상시에는 상시 상부가 전체 개방된 상태이다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

반응조는 총 2개소로, 깊이가 5m이며 용량은 각각 232m³로, 두 개소 모두 규격이 유사하다. 상시 상부가 전체 개방된 상태이며, 형태는 육면체이다. 고정식 사다리가 설치되어 있으며, 비상시에는 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

응집조는 1개소로, 깊이는 5m, 용량은 232.0m³이다. 상부는 항상 전체 개방된 상태이다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

침전조는 총 3개소로, 깊이가 2.5m에서 3.0m이며 용량은 678.4m³에서 1,226.6m³이다. 실린더 형태 1개소를 제외한 나머지는 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이며, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체와 실린

더 두 가지이고, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구면적이 넓어 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

1, 2차 처리수조는 총 2개소로, 깊이가 4.2m에서 5m이며 용량은 178m³에서 2,200m³이다. 1개소를 제외한 나머지는 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이며, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이고, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

무산소조는 총 8개소로, 깊이가 5m로 동일하며 용량은 127.4m³에서 521m³이다. 평상시에는 미생물 서식 조건을 고려하여 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이고, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

호기조는 총 6개소로, 깊이가 2.7m에서 6m이며 용량은 216m³에서 571m³이다. 평상시에는 미생물 서식 조건을 고려하여 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이고, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

(나) 내용물 특성

집수조는 용량 986m³ 2개소 기준으로 알카리페수와 pH가 조정된 폐수 약 3,826톤/일을 pH조정조로 이동시킨다. Hydraulic Retention Time (HRT)은 6.2시간으로 폐수가 고여 있지 않고, BOD, TOC, T-N, T-P, Cu 등 농도 확인절차를 거치고 있어, Cu 등 화학물질 독성으로 인한 미생물 서식이 어려운 환경이다.

조정조는 용량 227.8m³ 1개소 기준으로 집수조에서 유입된 폐수와 약품을 혼합하여 약 3,826톤/일을 반응조로 이동시킨다. HRT는 약 86분으로 폐수가 고여 있지 않다. 화학물질 독성으로 인해 미생물 서식이 어려운 환경이다.

반응조는 용량 232.8m³ 1개소 기준으로 조정조에서 유입된 폐수와 약품을 혼합하여 약 3,826톤/일을 응집조로 이동시킨다. HRT는 87~88분으로 폐수가 고여 있지 않다.

응집조는 용량 232m³ 1개소 기준으로 반응조에서 유입된 폐수와 약품이 혼합되어 약 3,826톤/일이 침전조로 이동하며, HRT는 87분으로 폐수가 고여

있지 않다.

침전조는 용량 1,226m³ 1개소 기준으로 반응조에서 유입된 폐수와 약품을 혼합하여 약 3,826톤/일을 침전조로 이동시킨다. HRT는 7.7시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

1, 2차 처리수조는 용량 2,200.7m³ 1개소 기준으로 침전조에서 유입된 폐수 약 3,476톤/일을 처리한다. HRT는 15.2시간으로 폐수가 고여 있지 않다. BOD, TOC, T-N, T-P, Cu 등을 미생물 서식 환경 기준에 맞춘다.

무산소조는 용량 2,713.9m³ 8개소 기준으로 1, 2차 처리수조에서 유입된 폐수 3,476톤/일을 유기물을 이용하여 처리한다. HRT는 18.7시간으로 폐수가 고여 있지 않다. 일부 미생물 서식 환경을 고려하여 인산 및 글리올 A가 사용된다.

호기조는 용량 1234.5m³ 3개소 기준으로 무산소조에서 유입된 폐수 3,476톤/일을 유기물을 이용한 생물학적 폐수처리 방식으로 처리하며, HRT는 8.5시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

호기조는 용량 1234.5m³ 3개소 기준으로 무산소조에서 유입된 폐수 3,476톤/일을 생물학적 폐수처리 방식으로 처리한다. HRT는 8.5시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

(다) 가스배관 연결

유기폐수 처리과정에서는 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(라) 연소과정

유기폐수 처리과정에서 내부 연소과정이 없다.

(3) 박리폐수 처리시설

박리폐수 처리시설은 제조 공정에서 사용한 박리폐수를 처리하는 시설로, 하루 약 491톤을 집수 후 산 집수조로 흘려보낸다. 폐수량에 따라 사용되며 현재는 유휴 시설이다. 박리 스웰러 집수조 1개소에 대해서는 위탁 처리한다.

(가) 공간적 특성

집수조는 총 3개소이고, 1개소는 유티 시설이다. 깊이는 5m에서 5.5m이며, 용량은 89.9m³에서 133.0m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

탱크는 총 5개소로, 깊이가 2.3m에서 4.3m이며 용량은 11m³에서 50.3m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 출입구는 측면에 있다, 환기를 위해 상부로 올라가는 과정에서 추락 위험성이 있다. 형태는 육면체이고, 고정식 사다리가 없다. 비상시에는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

(나) 내용물 특성

집수조는 용량 133.0m³ 1개소 기준으로 제조 공정에서 사용된 박리 폐액을 집수하는 시설로, 하루 약 491톤의 폐수를 산폐수 집수조로 이동시킨다. HRT는 6.5시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

탱크는 박리 폐액을 보관 후 위탁 처리하는 시설로, 화학물질 독성으로 인해 미생물 서식이 어려운 환경이다.

(다) 가스배관 연결

박리폐수 처리과정에서는 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(라) 연소과정

박리폐수 처리과정에서 내부 연소과정이 없다.

(4) 종합폐수 처리시설

종합폐수 처리시설은 제조 공정에서 사용된 일반 폐수 및 2차 처리수를 처리하는 시설이다.

(가) 공간적 특성

집수조는 총 3개소로, 깊이가 5m에서 6.5m이며 용량은 116m³에서 1,248m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

조정조는 총 3개소로, 깊이가 3.2m에서 5m이며 용량은 51m³에서 232m³이다. 1개소를 제외하고 평상시에 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 장소가 협소하지 않은 1개소는 비상시 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

반응조는 총 5개소로, 깊이가 3.2m에서 5m이며 용량은 30.0m³에서 239.5m³이다. 2개소를 제외하고 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구면적이 넓은 4개소를 제외하고, 비상시에 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

응집조는 총 3개소로, 깊이가 3.2m에서 5.0m이며 용량은 30m³에서 234.5m³이다. 1개소를 제외하고 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구면적이 넓은 2개소를 제외하고, 비상시에 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

침전조는 총 3개소로, 깊이가 2.5m에서 3m이며 용량은 482m³에서 1,226.6m³이다. 상시 상부가 개방된 상태이며, 형태는 실린더이고 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구 면적이 넓어, 비상시 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

농축조는 총 4개소로 깊이가 3.2m에서 3.5m이며 용량은 99m³에서 168.0m³이다. 상시 상부가 개방된 상태이며, 형태는 실린더이고 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구 면적이 넓어, 비상시 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

1,2차 pH조정조는 각각 1개소이며, 모두 깊이가 3m이고 용량은 52m³이다. 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시 상부를 전체 개방한다. 고정식 사다리가 설치되어 있고, 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 있는 구조이다.

방류수조는 총 4개소이며, 깊이는 3m에서 5m이고 용량은 103m³에서 1,228.4m³이다. 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 형태는 육면체이고, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구면적이 넓어, 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 없는 구조이다.

탱크는 총 7개소이며, 깊이는 3.0m에서 6.5m이고 용량은 103m³에서 1248.8m³이다. 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시 상부를 부분 개방한다. 일반 폐수 탱크 1개소를 제외하고 나머지 탱크는 출입구는 측면에 있다. 환기를 위해 상부로 올라가는 과정에서 추락 위험성이 있다. 형태는 육면체와 실린더 두 가지이며, 고정식 사다리는 없다. 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 없는 구조이다.

(나) 내용물 특성

집수조는 용량 803m³인 1개소를 기준으로 1차 처리수, 일반 폐수, 2차 처리수 등 약 6,874톤/일을 집수하여 조정조로 보낸다. 이 중 약 3,994톤/일은 종합 pH 조정조로 보내며, 나머지 2,880톤/일은 종합 신설 pH 조정조로 이동시킨다. Hydraulic Retention Time(HRT)는 2.8시간으로 폐수가 고여 있지 않으며, BOD, TOC, T-N, T-P, Cu 등 농도 확인 중이며, Cu 등 화학물질 독성으로 인해 미생물이 서식하기 어려운 환경이다.

조정조는 용량 51.0m³인 1개소를 기준으로 집수조에서 유입된 폐수와 투입약품 약 3,994톤/일을 반응조로 이동시킨다. HRT는 18.4분으로 폐수가 고여 있지 않다. 집수조 관리 기준에 따라 황산, 황산알루미늄 등의 약품이 투입되어 화학물질 독성으로 인해 미생물 서식이 어려운 환경이다.

반응조는 용량 51.0m³인 1개소를 기준으로 조정조에서 유입된 폐수와 투입약품 약 3,994톤/일을 응집조로 이동시킨다. HRT는 18.4분으로 폐수가 고여 있지 않다.

응집조는 용량 70.0m³인 1개소를 기준으로 반응조에서 유입된 폐수와 투입약품 약 3,994톤/일을 침전조로 보낸다. HRT는 25.3분으로 폐수가 고여 있지 않다.

침전조는 용량 482.0m³인 2개소를 기준으로 응집조에서 유입된 3,994톤/일

의 폐수를 1,2차 pH 조정조 및 농축조로 이동시킨다. 그 외 발생한 슬러지는 종합 응집조 및 pH 조정조로 보낸다. HRT는 5.8시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

농축조는 용량 168.0m³인 1개소를 기준으로 침전조에서 유입된 슬러지 약 429톤/일 중 215톤/일을 탈수하며, 나머지 214톤/일은 다시 종합 집수조로 보낸다. HRT는 9.4시간으로 폐수가 고여 있지 않다.

1,2차 pH조정조는 용량 52.0m³인 1개소를 기준으로 일반폐수, 2차 처리수, 냉각수 폐수, 약품(가성소다, 황산) 등 약 6,874 톤/일 최종 처리수를 여과처리수조로 보낸다. HRT 10.8분으로 최종 처리수가 고여 있지 않다.

방류수조는 용량 259.0m³인 1개소를 기준으로 최종 처리수 6,874톤/일을 방류수조로 보낸다. HRT는 54.4분으로 최종 처리수가 고여 있지 않다. BOD는 80mg/L, TOC는 50mg/L, T-N은 60mg/L, T-P는 8mg/L, Cu는 3 mg/L 농도 이하로 관리하고 있어, 미생물이 서식이 어려운 환경이다.

탱크는 제조공정에서 발생된 폐액을 보관 후 처리하며, 화학물질 독성으로 인해 미생물 서식이 어려운 환경이다.

(다) 가스배관 연결

종합폐수처리 과정에서는 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(라) 연소과정

종합폐수처리 과정에서 별도 연소과정은 없다.

나) 오수 시설

오수 시설의 밀폐 공간은 맨홀 형태로 외부에 위치하고 있다. 이 시설은 펌프를 이용(시간당 4회)하거나, 자연유하 방식으로 오수를 지역 하수 종말 처리장으로 이동시킨다.

(1) 공간적 특성

오수 맨홀은 총 28개소로 옥외에 있다. 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 바, 깊이가 약 2m 이상이며, 개구부는 원형이고 내부는 육면체 형태이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 있는 구조이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다.

(2) 내용물 특성

오수 맨홀의 내용물은 생활하수와 산업폐수로, 장기간 고여 있을 가능성이 높다. 작업 주기가 불규칙하여 혐기성 미생물이 서식할 가능성이 높다. 별도 수질 오염은 측정하지 않고 있다.

(3) 가스배관 연결

오수 맨홀은 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(4) 연소과정

오수 맨홀은 별도 연소과정은 없다.

다) 우수 차단시설

우수 차단시설의 밀폐 공간은 저수조와 맨홀 형태로 외부에 위치하고 있다. 공장별 우수 배출 용량은 1일 약 51톤이며, pH 미터를 이용하여 방류수질 기준 pH 5.8 ~ 8.5를 확인한 후 우수로를 통해 외부로 배출한다. 초기 우수에는 유기물이 포함될 가능성이 있어 종합폐수 집수조로 이동시켜 처리한다.

(1) 공간적 특성

집수조는 총 4개소로, 옥외에 위치하고 있다. 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 바, 깊이는 약 2m 이상이고 육면체 형태이다. 상시는 상부가 개방된 상태이다. 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 있는 구조이며, 고정

식 사다리는 없다.

맨홀은 1개소로, 옥외에 있다. 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 바, 깊이는 약 2m 이상이고 개구부는 원형이며 내부는 육면체 형태이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 있는 구조이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다.

(2) 내용물 특성

집수조와 맨홀 모두 내용물이 빗물로 장기간 고여 있을 가능성이 높다. 작업 주기가 불규칙하여 혐기성 미생물도 서식할 가능성이 높다.

(3) 가스배관 연결

우수차단 시설은 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(4) 연소과정

우수차단 시설은 별도 연소과정이 없다.

2) 용수관련 시설 밀폐공간의 특성

가) 용수 시설

용수 시설은 안정적인 용수 공급을 위한 시설로 저수조, 탱크, 맨홀 형태가 있다. 탱크 내부 점검 및 청소 작업을 6개월 주기로 하고 있다.

(1) 공간적 특성

저수조는 총 7개소가 있다. 깊이는 2.7m에서 9m, 용량은 30m³에서 16,000 m³이다. 다른 시설에 비해 깊이가 가장 깊고 용량이 가장 크다. 4개소를 제외하고는 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구면적이 좁은

2개소를 제외하고는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다. <표 19>에서 용량이 큰 저수조의 경우 깊이가 최고 9m이며, 출입이 측면에서 이루어져 상대적으로 추락 위험성이 높다.

탱크는 총 10개소가 있으며, 깊이는 1.83m에서 4.57m, 용량은 5m³에서 150m³이다. <표 19>의 분류 결과, 실린더 형태의 소형 탱크는 깊이가 작아 추락 위험성이 없다. 다른 시설에 비해 상대적으로 깊이가 가장 깊고 용량이 가장 크다. 모든 탱크는 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 개구면적이 좁은 6개소를 제외하고는 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

맨홀은 총 2개소이며, 깊이는 2m에서 2.4m, 용량은 7m³에서 78.9m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 개방한다. 형태는 육면체와 실린더 두 가지이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 있는 구조이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다.

(2) 내용물 특성

저수조와 탱크는 2회/년 수질 검사를 통해 서식 유기물을 검사하고 있다. 수질검사 기준은 탁도 0.5 NTU 이하, 수소이온농도 5.8~8.5, 잔류 염소 0.1~4.0mg/L, 일반세균 100 CFU/mL이하, 총대장균 불검출/100mL, 분원성대장균 불검출/100mL로 관리 중이며, 인화성 물질은 없다.

맨홀의 내용물은 대부분 빗물로, 장기간 고여 있을 가능성이 높다. 일일 작업이 이루어지고 있으나, 혐기성 미생물이 서식할 가능성이 높다.

(3) 가스배관 연결

용수 시설은 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(4) 연소과정

용수 시설은 별도 연소과정은 없다.

나) 순수 시설

순수 시설은 제조 공정에서 사용할 순수를 생산하는 시설로, 정수 시설별로 하루 약 8,580톤을 처리한다.

(1) 공간적 특성

저수조는 1개소로, 깊이는 7.0m이며, 용량은 595.0m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상시 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

탱크는 총 11개소로 2개소는 육면체, 9개소는 실린더 형태이다. 깊이가 1.6m에서 6.5m이며, 용량은 3m³에서 272m³이다. 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. <표 22>의 분류 결과, 실린더 형태의 소형 탱크는 깊이가 작아 추락 위험성이 없다. 8개소를 제외한 구조용 삼각대 사용이 불 가능한 구조이다.

혼상탑은 14개소로, 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 바, 깊이가 약 2.0m 미만이며, 평상시에는 출입구가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 형태는 실린더이며, 비상시 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

여과기는 12개소로, 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 바, 깊이가 약 2m 미만이며, 평상시에는 출입구가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 형태는 실린더이며, 비상시 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

(2) 내용물 특성

저수조의 내용물은 용수이며, 고여 있지 않다. 별도의 수질 검사는 실시하고 있지 않다. 약품으로 염산과 수산화나트륨을 사용하고 있으나, 자동 공급

방식이다.

탱크, 혼상탑 및 여과기의 내용물은 순수이고, 0.1~1 μ m 기공의 정밀 여과기를 통해 부유 물질 및 미세 입자를 제거한다. 화학적 처리를 통해 유기물이 서식할 가능성은 없다.

(3) 가스배관 연결

순수시설 중 탱크만 질식가스 배관을 연결하여 기체(질소)가압된 상태이다.

(4) 연소과정

순수 시설은 별도 연소과정은 없다.

다) 소화 시설

소화 시설은 비상용 소화 용수(소화수 및 스프링클러)를 저장해 놓은 시설로 저수조 형태이다.

(1) 공간적 특성

저수조는 총 2개이며, 깊이는 1.5m에서 2m, 용량은 60m³에서 75m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 전체 개방한다. 저수조의 형태는 육면체이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다. 비상 시에는 구조용 삼각대 사용이 가능한 구조이다.

(2) 내용물 특성

저수조의 내용물은 생활용수이다. 용수 시설과 연결되어 있으며, 지속적으로 펌프를 이용하여 유체가 흐르고 있어 고여 있지 않다. 별도의 수질 검사는 실시하지 않고 있다.

(3) 가스배관 연결

소화 시설은 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

(4) 연소과정

소화 시설은 별도 연소과정은 없다.

3) 화학원료보관 시설 밀폐공간의 특성

화학원료 보관시설은 탱크 형태이며, 제조 공정에서 사용되는 다양한 화학 원료(황산, 산화구리, 염산, 질산 등)를 보관한다.

가) 공간적 특성

탱크는 총 42개로, 육면체와 실린더 두 가지 형태가 있다. 육면체 형태는 깊이가 1.5m에서 3.2m이며, 용량은 5m³에서 17m³이다. 평상시에는 상부가 개방되지 않으나, 작업 시에는 상부를 부분 개방한다. 실린더 형태의 경우, 높이는 1.54m에서 6.2m이며, 용량은 1m³에서 9m³이다. 출입구는 측면에 있고, 환기를 위해 상부로 올라가는 과정에서 추락 위험성이 있다. 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

나) 내용물 특성

내용물은 염화수소 36ppm, 질소산화물 29.9ppm, 탄화수소 9.2ppm 등 다양한 화학물질 원액이다. 화학 물질의 독성으로 인해 유기물이 서식할 가능성이 없다. 염산 탱크 1개소의 경우, 0.059 톤/일을 처리하여 화학물질이 고여 있지 않다.

다) 가스배관 연결

화학원료 보관시설은 원료의 화재·폭발 및 오염을 방지하기 위해 질식가스 배관을 연결하여 기체(질소)가압된 상태이다.

라) 연소과정

화학원료보관 시설은 별도 연소과정은 없다.

4) 대기오염 방지시설 밀폐공간의 특성

대기오염 방지시설은 제조공정에서 배출되는 오염원을 유입 후 처리하는 시설로 흡수탑, 흡착탑 및 백필터가 있다. 오염원이 고여있지 않고 있어 유기물 서식 가능성이 낮다. 처리 용량이 370 m³/min인 경우, 하루에 약 35톤의 폐수가 발생되고, Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Organic Carbon(TOC), 총 부유물질, Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P) 대기배출 농도 이하로 관리하고 있다.

가) 공간적 특성

흡착탑은 총 10개로 깊이가 3m에서 5.1m이며, 용량은 36m³에서 73m³이다. 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 하부를 개방한다. 형태는 육면체이고, 하부에서 출입이 이루어지고 있다. 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

흡수탑은 총 17개소로 깊이가 6.5m에서 8m이며, 용량은 15m³에서 101m³이다. 평상 시에는 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부와 측면부를 개방한다. 형태는 실린더이고, 측면부에서 출입이 이루어지고 있다. 구조용 삼각대 사용이 불가능한 구조이다.

나) 내용물 특성

흡착탑의 내용물은 제조공정에서 사용된 산·알칼리계 가스를 흡착한 폐 활성탄이다. BOD는 20mg/L, TOC는 30mg/L, 부유물질량은 10mg/L, T-N은 5ppm, T-P는 1mg/L 이하 이다.

흡수탑의 내용물은 산·알칼리계 가스를 공업용수에 분사시킨 오염물질을 흡수한 폐수이며, BOD는 20mg/L, TOC는 30mg/L, 부유물질량은 10mg/L, T-N은 5ppm, T-P는 1mg/L 이하 이다. 오염원이 고여 있지 않다.

다) 가스배관 연결

대기오염 방지시설은 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고는 발생하지 않는다. 다만, 흡수제 또는 흡착제에 의한 화학중독

가능성은 있다.

라) 연소과정

대기오염 방지시설은 별도 연소과정이 없다.

5) 전력점검 시설 밀폐공간의 특성

전력점검 시설은 초고압 케이블 선로를 점검하는 시설로 맨홀 형태이다.

가) 공간적 특성

맨홀은 총 10개소로, 모두 깊이가 2.7m이며 용량은 89m³이다. 평상시 상부가 개방되지 않은 상태이나, 작업 시에는 상부를 개방한다. 작업 전 맨홀에 급기를 실시하여 내용물을 제거한 후 작업한다. 입구는 원형이고 내부는 육면체 형태로 비정방형이다. 비상시 구조용 삼각대를 사용할 수 있는 구조이며, 고정식 사다리가 설치되어 있다.

나) 내용물 특성

내용물은 빗물이나 오수이며, 작업주기가 2년으로 6개월 이상 고여 있을 가능성이 있다. 인화성 물질은 없다.

다) 가스배관 연결

전력점검 시설에 질식 가스 배관이 연결되어 있지 않아, 밀폐공간에서의 질식사고가 없다.

라) 연소과정

전력점검 시설은 별도 연소과정이 없다.

제 3 절 밀폐공간의 가동 중 산소 및 유해가스 농도

1) 폐수, 오수 및 우수 처리시설 산소 및 가스농도

가) 폐수 처리시설

밀폐공간 작업을 하기 위해 작업자가 내부로 진입하기 위해서는 밀폐공간 가동을 멈추고, 내부를 비워야 한다. 폐수처리 시설의 가동을 멈추고 밀폐공간 내부의 폐수를 모두 배수하면 그 공간은 외부 공기가 유입되어 채워진다. 다른 급격한 유해가스 발생이나 산소 소모 요인이 없다면 밀폐공간 내부의 공기는 평소 가동될 당시의 공기오염 수준을 넘지 않을 것이다. 즉, 밀폐공간의 내부 공기질을 좌우하는 1차 요인은 평소 시설의 가동 중에 발생하는 유해가스 농도에 좌우될 것이다. 물론 정화조와 같이 오랫동안 폐수나 오수가 정체상태로 고여 있었거나 바닥에 슬러지가 쌓여서 혐기성 미생물이 증식한 경우에는 바닥에 잔류된 폐수나 침전되어 있던 슬러지에 과포화상태로 녹아 있던 황화수소 가스가 한꺼번에 발생할 가능성이 있다. 그러나 전자제품 제조업에서 일상적으로 가동되고 있는 폐수처리 시설에서 이러한 가능성은 거의 없다.

따라서 평소에 정상적으로 가동 중인 밀폐공간 내부의 산소농도 변화 및 이산화탄소, 일산화탄소, 황화수소의 농도를 파악하는 것은 밀폐공간 작업시 안전관리에 매우 중요한 정보를 제공한다고 볼 수 있을 것이다.

평상시 폐수처리 시설의 밀폐공간인 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 방류수조, 1,2차 처리수조, 무산소조 및 호기조에서 산소농도 변화 유무와 다른 유해가스 발생상황을 파악하기 위해 정상적으로 가동 중인 각 시설의 외부와 내부(입구 바로 안쪽)에서 측정을 실시하였다. 단, 일부 위탁폐수용 탱크는 측정이 불가능하여 측정하지 못했다.

가동 중인 밀폐공간은 모든 출입구에 잠금장치를 설치하고 출입을 엄격히 통제하고 있으므로 가동 중인 내부 공간의 산소 및 유해가스 농도는 법적으로나 안전관리 측면에서는 의미가 없다. 밀폐공간 작업은 가동을 멈추고 내부의 폐수를 모두 배수한 후에 환기 등의 조치를 취한 후, 산소와 유해가스 농

도를 모두 확인한 후 작업자를 진입시키기 때문에 가동 중인 밀폐공간의 산소 및 유해가스 농도는 밀폐공간 작업과는 무관하다. 그럼에도 불구하고 가동 중인 밀폐공간 내부에 산소 및 유해가스 농도를 측정한 것은 가동 중인 상태에서 내부의 산소농도 변화나 유해가스 발생여부 및 그 정도를 파악함으로써 밀폐공간 관리를 한단계 더 고도화시키고자 함이다.

(1) 산폐수 처리시설

산폐수 처리 공정의 밀폐공간 내부와 외부에서 산소 및 유해가스를 농도를 측정한 결과는 <표 32>와 같다. 밀폐공간 내부는 밀폐공간의 출입구를 일부만 열고 측정기의 시료채취관을 내부로 넣어 측정한 것으로 가동 중인 밀폐공간 내부, 즉 폐수를 정화하기 위한 각종 화학반응이 이루어지는 내부에서 산소농도와 유해가스 발생여부를 파악하고자 함이었다.

먼저 모든 밀폐공간의 외부, 즉 작업자들이 있는 공간에서의 산소농도는 대기 중 산소농도와 동일한 20.8% 내외로 정상이었다.

집수조는 산소 농도가 표준대기 중 농도와 같은 20.8% 내외로 정상이었으며, 일산화탄소와 황화수소는 전혀 검출되지 않았다. 다만 이산화탄소 농도는 100~1,800 ppm으로 변이가 심하게 나타났다. 일반적으로 대기 중의 농도가 350~400 ppm 수준임을 감안하면 이산화탄소 농도는 변화가 감지된 것으로 보인다. 다만, 이산화탄소 농도가 대기 중 농도보다 낮은 경우가 다수 나타났는데 이산화탄소 농도가 낮아질 만한 원인을 찾기는 어려웠다. 향후 이산화탄소에 대해서는 좀 더 연구가 필요할 것으로 보인다. 다만 그 농도 수준이 작업환경 노출기준인 5,000 ppm이하로 우려할 만한 상황은 아니었다. 더구나 실제 밀폐공간 작업을 위해 집수조의 폐수를 모두 배수하면 이산화탄소 농도는 정상적으로 될 가능성이 클 것으로 보인다. 밀폐공간 작업 전후로 이 부분은 반드시 확인할 필요가 있을 것으로 보인다.

조정조의 경우, 조정조 내부에서 측정한 결과 산소농도가 20.9~23.8%로 일부에서 정상범위를 초과하는 경우가 있었으며, 이산화탄소는 15,775~49,900 ppm 이상으로 매우 높게 나타났다. 49,900 ppm은 측정기기의 측정범위 상한이므로 최대 농도는 50,000 ppm을 초과하는 경우가 있는 것으로 보인다.

따라서 조정조에서는 이산화탄소가 발생하고 있음이 거의 확실하다. 다만 이산화탄소가 발생하는 기전이나 원인은 확인하지 못하였다. 다른 특별한 발생원이 없는 것으로 보아, pH조정 과정에서 투입된 약품들의 화학반응에 의해 발생하는 것으로 추정될 뿐이다. 이 부분은 추후 추가적인 조사와 연구가 필요할 것으로 보인다. 특히 밀폐공간 작업을 위해 시설의 가동을 멈추고 폐수를 모두 배수한 이후에는 이산화탄소 농도가 정상으로 돌아오는 반드시 확인할 필요가 있다고 본다.

한편 일부 조정조 내부 공기 중에서는 일산화탄소와 황화수소도 검출되었다. 일산화탄소 농도는 최대 6 ppm으로 노출기준인 30 ppm의 20% 수준을 넘어서는 것으로 나타났다. 조정조 내부는 연소과정 등이 없으므로 일산화탄소도 투입된 약품의 화학반응으로 발생한 것이 아닌가 추정된다. 황화수소는 최대 1.3 ppm수준으로 노출기준인 10 ppm의 약 13% 수준이지만 일부 조정조에서 황화수소가 발생한다는 사실이 중요하다. 황화수소가 발생하는 원인은 혐기성 미생물에 의한 유기물의 분해 또는 투입된 화학물질의 반응에 의한 발생 등이 있을 수 있는데, 폐수의 흐름이나 성분 등으로 미루어 볼 때, 화학반응에 의해 발생되었을 가능성이 크다. 만약 폐수 내에 투입된 약품에 의한 화학반응으로 발생한 경우라면 밀폐공간 작업을 하기 위해 가동을 중단하고 폐수를 제거하면 더 이상 황화가스가 발생하지 않을 것이다. 추후 밀폐공간의 안전을 확하기 위해서는 이 부분에 대해서도 추가적인 조사와 연구가 필요할 것으로 보인다.

한편 반응조의 입구에서는 산소농도가 최소 22.9 %에서 최대 30.0 %로 매우 높게 나타났다. 따라서 반응조의 경우 가동 중인 상태에서는 내부의 공기에 노출되지 않도록 주의가 필요할 것으로 보인다. 특히 밀폐공간 작업을 준비하거나 내부 상황을 확인하기 위해 출입구 뚜껑을 열고 고개를 안쪽으로 들이미는 등의 행동은 매우 위험할 수도 있는 것으로 나타났다.

반응조에서는 산소농도 뿐만 아니라 이산화탄소 농도도 상당히 높은 수준으로 나타났다. 최소농도가 3,500 ppm, 최대농도는 11,900ppm으로 반응조에서는 이산화탄소가 발생하는 것이 거의 확실하다. 이 뿐만이 아니라 반응조에서는 일산화탄소와 황화수소 가스도 검출되었다. 일산화탄소 농도는 8~11 p

pm 수준으로 노출기준 대비 50% 육박(30 ppm)하고 있는 수치가 나타났다. 황화수소는 급성으로 노출 될 경우 호흡 곤란, 마비 등의 증상을 일으킬 수 있고, 일산화탄소는 화학적 질식제의 한 종류로 산소운반 능력을 감소 시켜 마비 증상 등을 유발 시킬 수 있다.

〈표 32〉 가동 중인 산폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과

종류	구분	수 (건)	밀폐공간 외부 작업공간				수 (건)	밀폐공간 내부(가동 중)			
			O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)		O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
집수조	평균	8	20.9	250.0	0.0	0.0	8	20.8	600.0	0.0	0.0
	표준편차		0.0	106.9	0.0	0.0		0.3	592.8	0.0	0.0
	최소		20.9	100.0	0.0	0.0		20.0	100.0	0.0	0.0
	최대		20.9	400.0	0.0	0.0		20.9	1,800.0	0.0	0.0
조정조	평균	4	20.9	325.0	0.0	0.0	4	21.6	15,775.0	2.3	0.5
	표준편차		0.0	95.7	0.0	0.0		1.5	23,425.8	2.9	0.6
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	400.0	0.0	0.0
	최대		20.9	400.0	0.0	0.0		23.8	49,900.0	6.0	1.3
반응조	평균	2	20.9	200.0	0.0	0.0	2	26.5	7,700.0	9.5	2.2
	표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0		5.0	5,939.7	2.1	1.4
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		22.9	3,500.0	8.0	1.2
	최대		20.9	200.0	0.0	0.0		30.0	11,900.0	11.0	3.2
응집조		1	20.9	300.0	0.0	0.0	1	21.6	300.0	0.0	0.0
침전조		1	20.9	200.0	0.0	0.0	1	20.9	200.0	0.0	0.0
폐액탱크			측정하지 않음					측정하지 않음			

(2) 유기폐수 처리시설

〈표 33〉 가동 중인 유폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과

종류	구분	수 (건)	밀폐공간 외부 작업공간				수 (건)	밀폐공간 내부(가동 중)			
			O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)		O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
집수조	평균	7	20.9	400.0	0.0	0.0	7	20.9	500.0	0.0	0.0
	표준편차		0.0	100.0	0.0	0.0		0.0	200.0	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
	최대		20.9	500.0	0.0	0.0		20.9	800.0	0.0	0.0
조정조		1	21.2	400.0	0.0	0.0	1	21.2	300.0	0.0	0.0
반응조	평균	2	21.2	300.0	0.0	0.0	2	21.2	300.0	0.0	0.0
	표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
	최소		21.2	300.0	0.0	0.0		21.2	300.0	0.0	0.0
	최대		21.2	300.0	0.0	0.0		21.2	300.0	0.0	0.0
응집조		1	21.2	300.0	0.0	0.0	1	21.2	300.0	0.0	0.0
침전조	평균	5	21.0	420.0	0.0	0.0	4	20.9	550.0	0.0	0.0
	표준편차		0.1	109.5	0.0	0.0		0.0	57.7	0.0	0.0
	최소		20.9	300.0	0.0	0.0		20.9	500.0	0.0	0.0
	최대		21.2	600.0	0.0	0.0		20.9	600.0	0.0	0.0

종류	구분	수 (건)	밀폐공간 외부 작업공간				수 (건)	밀폐공간 내부(가동 중)			
			O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)		O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
무산소조	평균	16	20.9	400.0	0.0	0.0	16	20.8	756.3	0.0	0.0
	표준편차		0.0	36.5	0.0	0.0		0.2	409.8	0.0	0.0
	최소		20.9	300.0	0.0	0.0		20.0	400.0	0.0	0.0
	최대		20.9	500.0	0.0	0.0		20.9	1,800.0	0.0	0.0
호기조	평균	9	20.9	366.7	0.0	0.0	9	20.9	422.2	0.0	0.0
	표준편차		0.0	70.7	0.0	0.0		0.0	109.3	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
	최대		20.9	400.0	0.0	0.0		20.9	600.0	0.0	0.0

(3) 박리폐수 처리시설

〈표 34〉 가동 중인 유폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과

종류	구분	밀폐공간 외부 작업공간					밀폐공간 내부(가동 중)				
		수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
집수조		1	20.9	100.0	0.0	0.0	1	20.9	200.0	0.0	0.0
조정조		1	20.9	200.0	0.0	0.0	1	20.9	200.0	0.0	0.0
반응조	평균	2	20.9	200.0	0.0	0.0	2	20.9	200.0	0.0	0.0
	표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
	최대		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
응집조		1	20.9	200.0	0.0	0.0	1	20.9	200.0	0.0	0.0
침전조	평균	2	20.9	200.0	0.0	0.0	1	20.9	200.0	0.0	0.0
탱크	측정치 없음										

(4) 종합폐수 처리시설

〈표 35〉 가동 중인 유폐수 처리시설 외부 작업공간과 밀폐공간 내부의 산소 및 유해가스 측정 결과

종류	구분	수 (건)	밀폐공간 외부 작업공간				수 (건)	밀폐공간 내부(가동 중)			
			O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)		O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
집수조	평균	6	20.9	366.7	0.0	0.0	6	20.9	550.0	0.0	0.0
	표준편차		0.0	273.3	0.0	0.0		0.0	288.1	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
	최대		20.9	900.0	0.0	0.0		20.9	900.0	0.0	0.0
조정조	평균	2	21.1	250.0	0.0	0.0	2	21.1	400.0	0.0	0.0
	표준편차		0.2	70.7	0.0	0.0		0.2	141.4	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	300.0	0.0	0.0
	최대		21.2	300.0	0.0	0.0		21.2	500.0	0.0	0.0
반응조	평균	5	21.0	240.0	0.0	0.0	5	21.0	240.0	0.0	0.0
	표준편차		0.2	54.8	0.0	0.0		0.2	54.8	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
	최대		21.2	300.0	0.0	0.0		21.2	300.0	0.0	0.0
응집조	평균	3	21.0	233.3	0.0	0.0	3	21.0	233.3	0.0	0.0
	표준편차		0.2	57.7	0.0	0.0		0.2	57.7	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		20.9	200.0	0.0	0.0
	최대		21.2	300.0	0.0	0.0		21.2	300.0	0.0	0.0
침전조		2	20.9	200.0	0.0	0.0	1	20.9	200.0	0.0	0.0

종류	구분	수 (건)	밀폐공간 외부 작업공간				수 (건)	밀폐공간 내부(가동 중)			
			O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)		O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
농축조	평균	4	21.0	275.0	0.0	0.0	4	16.6	275.0	0.0	0.0
	표준편차		0.2	50.0	0.0	0.0		9.1	50.0	0.0	0.0
	최소		20.9	200.0	0.0	0.0		2.9	200.0	0.0	0.0
	최대		21.2	300.0	0.0	0.0		21.2	300.0	0.0	0.0
탱크	평균	7	20.9	328.6	0.0	0.0	0	측정치 없음			
	표준편차		0.0	48.8	0.0	0.0					
	최소		20.9	300.0	0.0	0.0					
	최대		20.9	400.0	0.0	0.0					
방류수조	평균	3	21.0	333.3	0.0	0.0	3	21.0	300.0	0.0	0.0
	표준편차		0.1	57.7	0.0	0.0		0.1	0.0	0.0	0.0
	최소		20.9	300.0	0.0	0.0		20.9	300.0	0.0	0.0
	최대		21.1	400.0	0.0	0.0		21.1	300.0	0.0	0.0

나) 오수 시설

오수 시설에서 발생하는 유해가스에 대해 입구에서 측정한 결과 표준 대기 중 공기 수준을 유지하는 것으로 확인하였다.

〈표 36〉 오수 시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
맨홀	밀폐공간 내부	평균	2	21.1	300.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0
		최소		21.1	300.0	0.0	0.0
		최대		21.1	300.0	0.0	0.0

다) 우수 차단시설

우수 차단시설에서 발생하는 유해가스에 대해 입구 및 외부에서 측정한 결과 표준 대기중 공기 수준을 유지하는 것으로 확인하였다.

〈표 37〉 우수 차단시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
집수조	밀폐공간 내부	평균	4	20.9	200.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0
		최소		20.9	200.0	0.0	0.0
		최대		20.9	200.0	0.0	0.0
	밀폐공간 외부 작업공간	평균	4	20.9	175.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	50.0	0.0	0.0
		최소		20.9	100.0	0.0	0.0
		최대		20.9	200.0	0.0	0.0
맨홀 (작업시)	밀폐공간 내부 (가동 중) (하)	평균	2	21.0	350.0	0.0	0.0
		표준편차		0.1	70.7	0.0	0.0
		최소		20.9	300.0	0.0	0.0
		최대		21.1	400.0	0.0	0.0
	밀폐공간 내부	평균	2	21.1	350.0	0.0	0.0

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
	(가동 중) (중)	표준편차	2	0.0	70.7	0.0	0.0
		최소		21.1	300.0	0.0	0.0
		최대		21.1	400.0	0.0	0.0
	밀폐공간 내부 (가동 중) (상)	평균		21.1	350.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	70.7	0.0	0.0
		최소		21.1	300.0	0.0	0.0
		최대		21.1	400.0	0.0	0.0

2) 용수관련 시설 측정현황

용수관련 시설에서 산업안전보건기준에 관한 규칙 제618조에 따라 산소, 이산화탄소, 일산화탄소 및 황화수소 농도를 측정한 결과는 <표 38>, <표 39> 및 <표 40>에서 보는 바와 같다. 이산화탄소 농도를 제외한 모든 가스의 농도는 모든 표준 대기 중의 농도가 같은 정도로 정상이었다. 다만 일부 이산화탄소의 농도 측정값은 대기 중 정상범위보다 훨씬 낮은 농도 수준을 보였다. 용수관련 시설에서 이산화탄소 농도가 대기보다 낮아질 요인이나 원인은 찾아 보기 어려우므로 측정기의 오류가 아닌가 추정된다. 다만 추후 이 부분은 추가적으로 더 확인이 필요할 것으로 보인다. 이산화탄소는 농도가 아주 높은 경우가 아니면 산업보건학적으로 크게 문제가 되지는 않는다.

<표 38> 용수 시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
저주조	밀폐공간 내부 (가동 중)	평균	3	20.9	200.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0
		최소		20.9	200.0	0.0	0.0
		최대		20.9	200.0	0.0	0.0
	밀폐공간 외부 작업공간	평균	9	20.9	262.5	0.0	0.0
		표준편차		0.0	74.4	0.0	0.0
		최소		20.9	200.0	0.0	0.0
		최대		20.9	400.0	0.0	0.0

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
탱크	밀폐공간 외부 작업공간	평균	9	20.9	288.9	0.0	0.0
		표준편차		0.0	105.4	0.0	0.0
		최소		20.9	200.0	0.0	0.0
		최대		20.9	500.0	0.0	0.0
맨홀	밀폐공간 내부 (가동 중)	평균	5	20.9	200.0	0.0	0.0
		표준편차		0.1	70.7	0.0	0.0
		최소		20.9	100.0	0.0	0.0
		최대		21.1	300.0	0.0	0.0
	밀폐공간 외부 작업공간	평균	4	20.9	175.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	50.0	0.0	0.0
		최소		20.9	100.0	0.0	0.0
		최대		20.9	200.0	0.0	0.0

〈표 39〉 순수 시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	수 (건)	구분	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
저수조	밀폐공간 내부	1		20.9	700.0	0.0	0.0
	밀폐공간 외부 작업공간	1		20.9	400.0	0.0	0.0
여과기	밀폐공간 외부 작업공간	1		20.9	200.0	0.0	0.0
탱크	밀폐공간 외부 작업공간	17	평균	20.9	323.5	0.0	0.0
			표준편차	0.0	109.1	0.0	0.0
			최소	20.9	200.0	0.0	0.0
			최대	20.9	500.0	0.0	0.0

시설	위치	수 (건)	구분	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
혼상탑	밀폐공간 외부 작업공간	4	평균	20.9	225.0	0.0	0.0
			표준편차	0.0	50.0	0.0	0.0
			최소	20.9	200.0	0.0	0.0
			최대	20.9	300.0	0.0	0.0

〈표 40〉 소화시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
저수조	밀폐공간 외부 작업공간	평균	1	21.6	400.0	0.0	0.0

3) 화학원료보관 시설 측정현황

화학원료보관 시설에서 발생하는 유해가스에 대해 입구와 외부에서 측정한 결과, 표준 대기중 공기 수준을 수준을 유지하는 것으로 확인하였다. 화학원료보관 시설에서는 탱크 특성상 입구 개방이 어려워 외부에서 측정을 실시하였다.

〈표 41〉 화학원료보관 시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
탱크	측정치 없음						
	밀폐공간 외부 작업공간	평균	22	20.9	277.3	0.0	0.0
		표준편차		0.0	68.5	0.0	0.0
		최소		20.9	200.0	0.0	0.0
		최대		20.9	400.0	0.0	0.0

4) 대기오염 방지시설 측정현황

대기오염 방지시설에 대한 유해가스는 상시 가동 중으로 측정이 불가하여 확인하지 못하였다.

5) 전력점검 시설 측정현황

전력점검 시설에서 발생하는 유해가스에 대해 입구에서 측정한 결과, 표준 대기중 공기 수준을 유지하는 것으로 확인하였다.

〈표 42〉 전력점검 시설 유해가스 측정 결과

시설	위치	구분	수 (건)	O2 (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	H2S (ppm)
맨홀	밀폐공간 외부 작업공간	평균	2	20.9	400.0	0.0	0.0
		표준편차		0.0	0.0	0.0	0.0
		최소		20.9	400.0	0.0	0.0
		최대		20.9	400.0	0.0	0.0
		측정치 없음					

제 4 절 밀폐공간의 위험도 분석

1) 위험도 분석

밀폐공간은 위험요인에 따라 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락 등의 위험성이 발생된다. 내부 위험 요인으로는 혐기성 미생물 서식, 내부 화학물질, 밀폐공간의 깊이 및 크기, 인화성 물질이 있고, 구조적 위험 요인으로는 물리적 공간 특성, 화학적 내용물 특성, 질식성 가스 배관 연결, 내부 연소, 사다리 사용 유무 등이 있다. 밀폐공간 특성에 따라 위험 요인이 다르고 위험도가 다르게 나타나므로, 내부 및 구조적 유해위험 요인으로 분류하여 위험도를 분석해 보고자 한다.

〈표 43〉 밀폐공간 위험 발생 원인 분류표

Hazard	내부 유해·위험 요인	구조적 유해·위험 요인
산소결핍	1. 혐기성 미생물 서식 2. 질식성 가스 유입 3. 산소 소모 화학 반응(산화작용) 4. 환기	
화학 중독	H2S 1. 혐기성 미생물 서식 2. 유기화합물 존재(황화합물)	1. 상부개방도 (환기) 2. 깊이 3. 구조적 복잡성
	CO 1. 연소	
	CO2 1. 발효 2. 화학반응 3. 가스 유입	
	내부 인자 1. 화학반응	
화재·폭발	1. 가연성 가스 또는 물질 존재 2. 산소 유입	
추락	1. 깊이 2. 사다리	1. 상부개방도 2. 깊이 3. 구조적 복잡성

2) 폐수, 오수 및 우수 처리시설의 위험도 분석

가) 폐수 처리시설

(1) 산폐수 처리시설

(가) 산소결핍 위험

산소 결핍이 일어나는 이유는 공기중 산소 소모가 많기 때문이다. 소모되는 이유는 미생물 서식에 의한 산소 소모, 연소에 의한 산소 소모, 화학반응(내부 철분과 화학반응 등)에 의한 산소 소모 등이 있다.

산폐수 처리시설 밀폐공간은 Hydraulic Retention Time (HRT) 37분 ~ 10.5시간으로 폐수가 고여 있지 않아 호기성 미생물 서식이 어렵고, 공기 중 산소 농도가 떨어지지 않아 혐기성 미생물 서식도 어려울 것으로 판단된다. 그 외 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

실제 산폐수 처리시설에서 측정한 결과 <표 32>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

산폐수 처리시설의 밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 배수하는 동안 상부를 통하여 외부 공기가 유입되어 채워지고, 작업 시작 전, 환기를 실시 후 작업자를 투입하고 있어 산소 결핍으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 매우 낮다.

(나) H₂S 중독 위험

H₂S 중독은 산소가 없는 환경에서 혐기성 미생물 서식에 의한 유기물 분해와 혐기성 조건에서의 황화합물 때문에 발생할 수 있다.

산소결핍에서 보는 바와 같이 폐수가 지속적으로 이동하여 H₂S 중독 위험은 낮을 것으로 판단된다.

<표 32>에서 보는 바와 같이 H₂S 농도가 10ppm 미만으로 확인되며, 일부 조정조 및 반응조에서는 최고 3.2ppm으로 나타난다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후, 작업자를 투입하고 있어 H₂S에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(다) CO₂ 중독 위험

CO₂에 의한 중독 위험은 혐기성 미생물의 발효 과정, 다양한 화학물질의 반응, 외부 가스 유입으로 발생할 수 있다.

산폐수 처리시설에서 혐기성 미생물 서식과 외부 가스 유입 가능성은 없다. 일부 pH를 조절하기 위한 조정조와 폐수 응집을 위한 반응조 등에서 화학 약품을 사용하고 있으나, 화학적 처리나 반응에 의한 CO₂ 발생 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

산폐수 처리 시설에서 CO₂를 측정한 결과 <표 32>에서 보는 바와 같이, 조정조와 반응조에서 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 정확한 원인이 확인되지 않아 추가적인 확인이 필요해 보인다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입하고 있어 CO₂ 중독으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(라) CO 중독 위험

CO 중독은 불안정한 연소작업과 화학반응에 의해 발생할 수 있다.

산폐수 처리시설에서 연소작업은 없다. 일부 pH를 조절하기 위한 조정조와 폐수 응집을 위한 반응조 등에서 화학 약품을 사용하고 있으나, 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

산폐수 처리 시설에서 측정한 결과 <표 32>에서 보는 바와 같이, 노출 기준(30ppm) 미만으로 확인된다. 1개 산폐수 처리장 조정조와 반응조에서 11ppm까지 검출되는 사항은 추가 확인이 필요해 보인다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입하고 있어 CO₂ 중독으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(마) 화학 중독 위험

화학중독을 일으키는 원인은 다양한 내부 화학물질과 투입되는 약품 등에 의해 발생할 수 있다.

화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 집수조, 방류수조에서 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), Cu 등 일부 항목에 대해 수준 확인 후 농도를 낮추고 있어 화학중독에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입하고 있어 화학중독으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(바) 화재·폭발

화재·폭발 위험은 가연성 가스, 인화성 물질, 고농도의 산소 유입에 의해 발생할 수 있다.

산폐수 처리시설에서는 다양한 화학물질을 사용한다. 그러나 가연성 가스 및 산소 유입 가능성이 없고 용수와 희석하여 사용하므로 화재·폭발 가능성은 낮다.

(사) 추락

추락 사고 위험은 밀폐공간의 깊이, 상부 개방정도, 이동식 사다리 사용 등의 요인으로 발생될 수 있다.

산폐수 처리시설(탱크 제외)의 대부분은 고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업한다. 깊이가 최고 6.4m 정도로 깊어 추락 위험이 있을 것으로 판단된다.

탱크의 경우 형태가 비정방형이고, 출입이 일부 측면에서 이루어지고 있다. 상부 작업 시 추락 위험이 높을 것으로 판단된다.

(아) 구조 복잡성

긴급 상황 시 구조에 영향을 주는 요인으로는 밀폐공간의 위치, 입구 면적, 깊이, 구조 복잡성, 보조도구의 사용 여부가 있다.

대부분의 시설(탱크 제외)의 밀폐공간 작업 위치는 하부에 있다. 작업 시

상부를 전체 개방하고 대부분이 정방형 형태이다. 침전조는 보조도구(구조용 삼각대) 사용에 어려움이 있으나 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

또한 밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

다만 탱크의 경우, 작업 위치가 상부에 있고 입구 면적이 좁으며 비정방형 구조로 되어 있어 구조용 삼각대 사용 등에 어려움이 있어 위험도가 높을 것으로 판단된다.

(자) 소결

위험도 시설 : 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 탱크(깊이가 1.2m제외)

〈표 44〉 산폐수 처리시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
매우 높음	추락	깊이가 최대 6.4m 이동식 사다리 가능성 출입구 면적 비정방형 형태	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

(2) 유기폐수 처리시설(무산소조 및 호기조 제외)

(가) 산소결핍 위험

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)의 밀폐공간은 HRT 86분 ~ 15.2시간으로 폐수가 고여 있지 않아 호기성 미생물 서식이 어렵고, 공기 중 산소 농도가 떨어지지 않아 혐기성 미생물 서식도 어려울 것으로 판단된다. 그 외 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

실제 유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)에서 측정한 결과 〈표 33〉에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)의 밀폐공간 작업은 내부 폐수를

모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 배수하는 동안 상부를 통하여 외부 공기가 유입되어 채워지고, 작업 시작 전, 환기를 실시 후 작업자를 투입하고 있어 산소 결핍으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 매우 낮다.

(나) H₂S 중독 위험

산소결핍에서 보는 바와 같이 폐수가 지속적으로 이동하여 H₂S 중독 위험은 낮을 것으로 판단된다.

〈표 33〉에서 보는 바와 같이 H₂S가 검출되지 않고 있어, H₂S에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후, 작업자를 투입하고 있어 H₂S에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(다) CO₂ 중독 위험

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)에서 혐기성 미생물 서식과 외부 가스 유입 가능성은 없다. 일부 pH를 조절하기 위한 조정조와 폐수 응집을 위한 반응조 등에서 화학 약품을 사용하고 있으나, 화학적 처리나 반응에 의한 CO₂ 발생 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

〈표 33〉에서 보는 바와 같이 CO₂가 검출되지 않고 있어, CO₂에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입되고 있어 CO₂ 중독으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(라) CO 중독 위험

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)에서 연소작업은 없다. 일부 pH를 조절하기 위한 조정조와 폐수 응집을 위한 반응조 등에서 화학 약품을 사용하고 있으나, 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

실제 유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)에서 측정한 결과 <표 33>에서 보는 바와 같이 CO가 검출되지 않고 있어, CO에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입되고 있어 CO 중독으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(마) 화학 중독 위험

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)에서 화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 집수조, 방류수조 및 1,2차 처리수조에서 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), Cu 등 일부 항목에 대해 수준 확인 후 농도를 낮추고 있어 화학중독에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 작업 전 용수세척을 하고 있어 잔류 화학물질에 대한 중독 위험성은 낮을 것으로 판단된다. 작업 전후 화학물질별 농도를 측정하여 관리할 필요성이 있어 보인다.

(바) 화재·폭발

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)에서 다양한 화학물질을 사용하나, 가연성 가스, 인화성 물질 존재 및 산소 유입 가능성이 낮고 용수와 희석하여 사용하므로 화재·폭발 가능성은 낮다.

(사) 추락

유기폐수 처리시설(무산소조, 호기조 제외)은 탱크를 제외하고는 대부분 시설에 고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업한다. 깊이가 최고 5m 정도로 깊어 추락 위험이 있을 것으로 판단된다.

(아) 구조 복잡성

대부분의 시설의 밀폐공간 작업 위치는 하부에 있다. 작업 시 상부를 전체

개방하고 대부분이 정방형 형태이다. 조정조, 응집조, 침전조 및 1,2차 처리수조는 보조도구(구조용 삼각대) 사용에 어려움이 있으나 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

또한 밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(자) 소결

위험도 시설 : 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조, 1,2차 처리수조

〈표 45〉 유기폐수 처리시설(무산소조 및 호기조 제외)의 위험도 분석

위험도*	위험요인	분류내용	위험시점
높음	추락	깊이가 최대 5m 이동식 사다리 가능성	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

(3) 무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설

(가) 산소결핍 위험

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설의 밀폐공간은 HRT 8.5시간으로 폐수가 고여 있지 않으며, 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다. 그러나 생물학적 처리 방식을 이용하여 혐기성 미생물이 서식하고 있어 산소결핍 위험도가 높을 것으로 판단된다.

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서 측정한 결과, 〈표 33〉에서는 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후 실시된다. 배수하는 동안 상부를 통하여 외부 공기가 유입되어 채워지고, 작업 시작 전, 환기를 실시 후 작업자를 투입하고 있어 산소 결핍으로 인한 건강장애가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

(나) H₂S 중독 위험

산소결핍에서 보는 바와 같이 혐기성 미생물 서식으로 인한 H₂S 중독 가능성이 높다.

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서 측정한 결과, <표 33>에서는 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후, 작업자를 투입하고 있어 H₂S에 의한 건강장해 위험이 낮을 것으로 판단된다.

(다) CO₂ 중독 위험

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서 외부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없다. 다만 혐기성 미생물 서식으로 CO₂ 발생 가능성이 높다.

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서 측정한 결과, <표 33>에서는 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방하여, 작업자를 투입하고 있어 CO₂에 의한 건강장해 위험이 낮을 것을 판단된다.

(라) CO 중독 위험

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서 연소작업 및 화학반응은 없다.

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서 측정한 결과, <표 33>에서는 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방하여 작업자를 투입하고 있어 CO에 의한 건강장해 위험이 낮다.

(마) 화학 중독 위험

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서는 혐기성 미생물 서식 환경을 유지하기 위해 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), Cu 등 일부 항목에 대해 수준을 확인한 후 화학물질의 독성을 낮추고 있다. 따라서 화학중독에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

(바) 화재·폭발

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서는 혐기성 미생물 서식을 위해 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않으며 산소 유입 가능성도 낮다. 폐수는 용수와 희석된 상태이므로 화재·폭발 가능성도 낮다.

(사) 추락

대부분 시설에 고정형 사다리가 설치되어 있으나, 이동식 사다리 사용 가능성이 있다. 상부를 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 깊이가 최고 6m 정도로 깊어 추락 위험이 있을 것으로 판단된다.

(아) 구조 복잡성

대부분의 시설에서 밀폐공간 작업 위치는 하부에 있다. 작업 시 상부를 전체 개방하고 대부분이 정방형 형태이다. 두 시설 모두 보조 도구(구조용 삼각대) 사용에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(자) 소결

위험도 시설 : 무산소조, 호기조

〈표 46〉 무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
높음	산소결핍	혐기성 미생물 서식	진입 시 작업 중
높음	H2S 중독	혐기성 미생물 서식	진입 시 작업 중
높음	CO2 중독	혐기성 미생물 서식	진입 시 작업 중

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
매우 높음	추락	깊이가 최대 6m 이동식 사다리 가능성	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

(4) 박리폐수 처리시설

(가) 산소결핍 위험

박리폐수 처리시설 밀폐공간은 HRT 6.5시간으로 폐수가 고여 있지 않아 호기성 미생물 서식이 어렵고, 공기 중 산소 농도가 떨어지지 않아 혐기성 미생물 서식도 어려울 것으로 판단된다. 그 외 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

실제 박리폐수 처리 시설에서 측정한 결과 <표 34>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 배수하는 동안 상부를 통하여 외부 공기가 유입되어 채워지고, 작업 시작 전, 환기를 실시 후 작업자를 투입하고 있어 산소 결핍으로 인한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(나) H2S 중독 위험

산소결핍에서 보는 바와 같이 폐수가 지속적으로 이동하고 있다.

박리폐수 처리시설에서 측정한 결과, <표 34>에서는 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방하여 작업자를 투입하고 있어 H2S에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(다) CO2 중독 위험

박리폐수 처리시설에서 혐기성 미생물 서식과 외부 가스 유입 가능성은 없다.

<표 34>에서 보는 바와 같이 CO2가 검출되지 않고 있어, CO2에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 실시된다. 환기 실시 후 작업자를 투입되고 있어 CO₂ 중독으로 인한 건강장애가 발생할 가능성은 낮다.

(라) CO 중독 위험

박리폐수 처리시설에서 연소작업은 없다.

실제 박리폐수에서 측정한 결과 <표 34>에서 보는 바와 같이 CO가 검출되지 않고 있어, CO에 의한 건강장애가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입되고 있어 CO 중독으로 인한 건강장애가 발생할 가능성은 낮다.

(마) 화학 중독 위험

박리폐수에서 화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 집수조에서 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), Cu 등 일부 항목에 대해 수준 확인 후 농도를 낮추고 있어 화학중독에 의한 건강장애가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 작업 전 용수세척을 하고 있어 잔류 화학물질에 대한 중독 위험성은 낮을 것으로 판단된다. 작업 전,후 화학물질별 농도를 측정하여 관리할 필요성이 있어 보인다.

(바) 화재·폭발

박리폐수 처리시설은 다양한 화학물질을 사용하나, 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성도 낮다. 또한 용수와 희석하여 사용하므로 화재·폭발 가능성은 낮다.

(사) 추락

박리폐수 처리시설은 탱크를 제외하고는 대부분 시설에 고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 깊이가 최고 5.5 m 정도로 깊어 추락 위험이 있을 것으로 판단된다.

탱크의 경우 형태가 비정방형이고, 출입이 일부 측면에서 이루어지고 있다. 상부 작업 시 추락 위험이 있을 것으로 판단된다.

(아) 구조 복잡성

대부분의 시설(탱크 제외)의 밀폐공간 작업 위치는 하부에 있다. 작업 시 상부를 전체 개방하고 대부분이 정방형 형태이다. 보조도구(구조용 삼각대) 사용이 가능하여 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

또한 밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

다만 탱크의 경우, 작업 위치가 상부에 있고 입구 면적이 좁으며 비정방형 구조로 되어 있어 구조용 삼각대 사용 등에 어려움이 있어 위험도가 높을 것으로 판단된다.

(자) 소결

위험도 시설 : 집수조, 탱크

〈표 47〉 박리폐수 처리시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
높음	추락	깊이가 최대 5.5m 이동식 사다리 가능성 출입구 면적 비정방형 형태	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

(5) 종합폐수 처리시설

(가) 산소결핍 위험

종합폐수 처리시설 밀폐공간은 HRT 18.4분 ~ 9.4시간으로 폐수가 고여 있지 않아 호기성 미생물 서식이 어렵고, 공기 중 산소 농도가 떨어지지 않아 혐기성 미생물 서식도 어려울 것으로 판단된다. 그 외 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

실제 종합폐수 처리시설에서 측정한 결과 <표 35>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수 시킨 후 상부를 완전히 개방한 후 실시된다. 배수하는 동안 상부를 통하여 외부 공기가 유입되어 채워지고, 작업 시작 전 환기를 실시하고 난 후 작업자를 투입하고 있어 산소 결핍으로 인한 건강장해 발생 가능성은 낮다.

(나) H2S 중독 위험

산소결핍에서 보는 바와 같이 폐수가 지속적으로 이동하여 H2S 중독 위험은 낮을 것으로 판단된다.

종합폐수 처리시설에서 측정한 결과, <표 35>에서는 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수시킨 후 상부를 완전히 개방한 후, 작업자를 투입하고 있어 H2S에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮다.

(다) CO2 중독 위험

종합폐수 처리시설에서 혐기성 미생물 서식과 외부 가스 유입 가능성은 없다. 일부 pH를 조절하기 위한 조정조와 폐수 응집을 위한 반응조 등에서 화학 약품을 사용하고 있으나, 화학적 처리나 반응에 의한 CO2 발생 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

<표 35>에서 보는 바와 같이 CO2가 검출되지 않고 있어, CO2에 의한 건강장해가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수시킨 후 상부를 완전히 개방한 후 실시된다. 환기 실시 후 작업자를 투입되고 있어 CO₂ 중독으로 인한 건강장애가 발생할 가능성은 낮다.

(라) CO 중독 위험

종합폐수 처리시설에서 연소작업은 없다. 일부 pH를 조절하기 위한 조정조와 폐수 응집을 위한 반응조 등에서 화학 약품을 사용하고 있으나, 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

실제 종합폐수 처리시설을 측정한 결과 <표 35>에서 보는 바와 같이 CO가 검출되지 않고 있어, CO에 의한 건강장애가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 내부 폐수를 모두 배수시킨 후 상부를 완전히 개방한 후에 이루어진다. 환기 실시 후 작업자를 투입되고 있어 CO 중독으로 인한 건강장애가 발생할 가능성은 낮다.

(마) 화학 중독 위험

종합폐수에서 화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 집수조, 방류수조에서 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), Cu 등 일부 항목에 대해 수준 확인 후 농도를 낮추고 있어 화학중독에 의한 건강장애가 발생할 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 작업 전 용수 세척을 하고 있어 잔류 화학물질에 대한 중독 위험성은 낮을 것으로 판단된다. 작업 전, 후 화학물질별 농도를 측정하여 관리할 필요성이 있어 보인다.

(바) 화재·폭발

종합폐수 처리시설에서는 다양한 화학물질을 사용하나, 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성도 낮다. 또한 용수와 희석하여 사용하므로 화재·폭발 가능성은 낮다.

(사) 추락

종합폐수 처리시설은 탱크를 제외하고는 대부분 시설에 고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 깊이가 최고 6.5 m 정도로 깊어 추락 위험이 높을 것으로 판단된다.

탱크의 경우 형태가 비정방형이고, 출입이 일부 측면에서 이루어지고 있다. 상부 작업 시 추락 위험이 높을 것으로 판단된다.

(아) 구조 복잡성

대부분의 시설(탱크 제외) 밀폐공간 작업 위치는 하부에 있다. 작업 시 상부를 전체 개방하고 있으며 대부분이 정방형 형태이다. 침전조, 농축조, 방류수조에서는 보조 도구(구조용 삼각대) 사용에 어려움이 있으나, 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

탱크의 경우, 작업 위치가 상부에 있고 입구 면적이 좁으며 비정방형 구조로 되어 있어 구조에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

(자) 소결

고 위험도 시설 : 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 방류수조, 탱크

〈표 48〉 종합폐수 처리시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
매우 높음	추락	깊이가 최대 6m 이동식 사다리 가능성 출입구 면적 비정방형 형태	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

나) 오수 시설

(1) 산소결핍 위험

생활하수로 장기간 고여 있을 가능성이 있어, 혐기성 미생물 서식 가능성이 높다. 형태는 비정방향으로 환기 위험도가 높다. 화학반응(부식성 물질) 및 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

오수 시설에서 측정한 결과 <표 36>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 완전히 개방한 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(2) 화학중독(H₂S)

산소결핍에서 보는 바와 같이 혐기성 미생물 서식으로 인한 H₂S 중독 가능성이 높다.

오수 시설에서 측정한 결과 <표 36>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 완전히 개방한 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(3) CO₂ 중독 위험

오수시설에서 외부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없다. 다만 혐기성 미생물 서식으로 CO₂ 발생 가능성이 있다.

오수 시설에서 측정한 결과 <표 36>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 완전히 개방한 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(4) CO 중독 위험

오수 시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

오수 시설에서 측정한 결과 <표 36>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(5) 화학 중독 위험

오수 시설에서 물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 생활 하수로 화학물질 중독 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

(6) 화재·폭발

오수 시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성도 낮다. 또한 내부 물질이 생활하수이므로 화재·폭발 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

(7) 추락

고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업이 실시된다. 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 결과, 깊이가 약 2m 이상으로 추락 위험은 있을 것으로 판단된다.

(8) 구조 복잡성

대부분의 오수 시설 밀폐공간 작업 위치는 하부에 있다. 작업 시 상부를 전체 개방하고, 보조 도구(구조용 삼각대) 설치가 가능하다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

형태는 비정방형이며, 입구면적에 따른 위험도는 있을 것으로 판단된다.

(9) 소결

위험도 시설 : 맨홀

〈표 49〉 우수 시설의 위험도 분석

위험도 *	위험 요인	분류내용	위험시점
높음	산소결핍	혐기성 미생물 서식 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
높음	H2S 중독 위험	혐기성 미생물 서식 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
높음	CO2 중독 위험	혐기성 미생물 서식 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
가능성 있음	추락	깊이가 2m 이상 비정방형 형태	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

다) 우수 차단시설

(1) 산소결핍 위험

빗물로 장기간 고여 있을 가능성이 있어, 혐기성 미생물 서식 가능성이 높다. 형태는 비정방형 형태로 환기 위험도가 있다. 연소, 화학반응(부식성 물질) 및 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

우수 차단시설에서 측정한 결과 〈표 37〉에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 완전히 개방한 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(2) H2S 중독 위험

산소결핍에서 보는 바와 같이 혐기성 미생물 서식으로 인한 H2S 중독 가능성이 높다.

우수 차단시설에서 측정한 결과 〈표 37〉에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(3) CO2 중독 위험

외부 가스(CO2) 유입 가능성은 없고, 화학 반응에 의한 CO2 중독 가능성도 없다.

우수 차단시설에서 <표 37>와 같이 CO₂ 측정결과, 적정 공기 수준을 유지하고 있으나 혐기성 미생물에 의한 CO₂ 위험도가 높다.

(4) CO 중독 위험

우수 차단시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

우수 차단시설에서 측정한 결과 <표 37>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(5) 화학 중독 위험

우수 차단시설에서 물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 빗물로 화학물질 중독 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

(6) 화재·폭발

우수 차단시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성도 낮다. 내부 물질이 빗물이므로 화재·폭발 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

(7) 추락

고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 정확한 크기 확인이 어려워 육안으로 확인한 결과, 깊이가 약 2.0m 정도로 추락 위험은 있을 것으로 판단된다.

(8) 구조 복잡성

고정식 사다리가 설치되어 있고, 구조용 삼각대 사용이 가능하고 이동식 사다리 사용 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

형태는 비정방형이며, 입구면적에 따른 위험도는 높을 것으로 판단된다.

(9) 소결

위험도 시설 : 저수조, 맨홀

〈표 50〉 우수 차단시설의 위험도 분석

위험도 *	위험 요인	분류내용	위험시점
높음	산소결핍	혐기성 미생물 서식 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
높음	H2S 중독 위험	혐기성 미생물 서식 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
높음	CO2 중독 위험	혐기성 미생물 서식 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
가능성 있음	추락	깊이가 2m 이상 비정방형 형태	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

3) 용수관련 시설의 위험도 분석

가) 용수 시설

(1) 산소결핍 위험

용수 시설의 밀폐공간은 2년/1회 수질 검사를 통한 혐기성 미생물 서식 가능성 낮추고 있다. 그 외 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다. 따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

실제 용수 시설에서 측정한 결과 〈표 38〉에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

맨홀의 경우, 용수 배관이 지나가는 시설로 빗물이 장기간 고여 있을 가능성이 있어, 혐기성 미생물 서식 가능성이 높다. 비정방형 형태로 환기 위험도가 있다. 부식성 물질 및 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

용수 시설의 밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 개방(탱크는 부분 개방) 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(2) H₂S 중독 위험

산소 결핍에서 보는 바와 같이, 저수조와 탱크는 혐기성 미생물 서식 가능성이 낮아 H₂S 중독 위험이 낮을 것으로 판단된다. 그러나 맨홀의 경우 빗물이 장기간 고여 있을 가능성이 높아 H₂S 중독 위험이 높을 것으로 판단된다.

〈표 38〉에서 H₂S 측정 결과, 모두 대기 중 농도 수준을 유지하고 있으나, 맨홀의 경우 혐기성 미생물에 의한 H₂S 위험도가 높다.

(3) CO₂ 중독 위험

CO₂에 의한 중독 위험은 혐기성 미생물의 발효 과정, 다양한 화학물질의 반응, 외부 가스 유입으로 발생할 수 있다.

내·외부 가스(CO₂) 유입 가능성이 없고, 화학 반응에 의한 중독 가능성도 없다. 〈표 38〉에서 CO₂ 측정결과, 모두 대기 중 농도 수준을 유지하고 있으나, 맨홀의 경우 혐기성 미생물에 의한 CO₂ 위험도가 높다.

(4) CO 중독 위험

용수 시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 없을 것으로 판단된다.

〈표 38〉에서 보는 바와 같이, 실제 용수 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(5) 화학 중독 위험

용수 시설에서 물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 내용물이 용수 및 빗물로 화학물질 중독 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

(6) 화재·폭발

용수 시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성이 낮다. 내용물이 용수 및 빗물이므로 화재·폭발 가능성도 낮을 것으로 판단된다.

(7) 추락

용수 시설은 탱크를 제외하고 대부분 시설에 고정형 사다리가 설치되어 있으며, 상부를 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 하지만 저수조는 깊이가 최고 9m 정도로 깊고, <표 19>와 같이 큰 저수조는 출입구가 측면에 위치하고 있다. 또한 탱크 및 맨홀의 경우 형태가 비정방형이어서 작업 시 추락 위험이 높을 것으로 판단된다.

(8) 구조 복잡성

탱크를 제외하고 고정식 사다리가 설치되어 있고, 저수조와 탱크는 보조도구(구조용 삼각대) 사용이 불가능하다. 형태는 탱크와 맨홀 모두 비정방형 형태이다. 다른 시설대비 상대적으로 깊이가 깊어 구조에 어려움이 있다.

(9) 소결

위험도 시설 : 저수조, 맨홀, 탱크

<표 51> 용수 시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
높음	산소결핍	맨홀에서 혐기성 미생물 서식 맨홀에서 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
높음	H2S 중독 위험	맨홀에서 혐기성 미생물 서식 맨홀에서 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
높음	CO2 중독 위험	맨홀에서 혐기성 미생물 서식 맨홀에서 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중
매우 높음	추락	깊이 최대 9m 맨홀 비정방형 형태 맨홀 작업 시 환기 상태	진입 시 작업 중

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

나) 순수 시설

(1) 산소결핍 위험

순수 시설은 화학물질과(염소, 수산화나트륨)과 여과기를 통해 부유물질 및 미세 입자 제거를 실시하고 있어, 혐기성 미생물 서식 가능성이 낮다. 그 외 연소, 화학반응은 없으나 질식성 가스(질소) 유입 가능성은 있다.

따라서 산소 결핍 위험도가 있을 것으로 판단된다.

실제 순수 시설에서 측정한 결과 <표 39>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 개방(탱크는 부분 개방) 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(2) H₂S 중독 위험

산소 결핍에서 보는 바와 같이, 혐기성 미생물 서식 가능성이 없어 H₂S 중독 위험이 낮을 것으로 판단된다.

<표 39>에서 보는 바와 같이, 실제 용수 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

순수 시설의 밀폐공간 작업은 시작 전에 상부를 개방(탱크는 부분 개방) 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(3) CO₂ 중독 위험

혐기성 미생물 서식 및 내부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없고, 화학 반응에 의한 중독 가능성도 없어 위험도가 낮을 것으로 판단된다. 실제 <표 39>에서 측정 결과 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(4) CO 중독 위험

순수 시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

<표 39>에서 보는 바와 같이, 실제 순수 시설에서 측정한 결과 모두 대기

중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(5) 화학 중독 위험

순수 시설에서 화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도를 확인할 수는 없으나, 내용물이 순수하고 미생물 제거를 위해 투입되는 염소 및 수산화나트륨이 자동으로 투입되고 있어 화학물질 중독 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

(6) 화재·폭발

순수 시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성이 낮다. 내용물이 용수 및 빗물이므로 화재·폭발 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

(7) 추락

순수 시설(탱크 제외)의 대부분은 고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부를 개방한 상태에서 작업이 실시된다. 깊이가 최고 7m 정도로 깊어 추락 위험이 있을 것으로 판단된다.

탱크의 경우 형태가 비정방형이고, 일부 측면에서 출입한다. 상부 작업 시 추락 위험이 높을 것으로 판단된다.

(8) 구조 복잡성

탱크를 제외하고는 고정식 사다리가 설치되어 있고, 저수조를 제외한 모든 순수시설에서는 보조도구(구조용 삼각대) 사용이 불가능하다. 탱크의 경우 이동식 사다리 사용이 가능하다.

형태는 비정방형으로 구조 위험도가 있어 구조 복잡성의 위험도가 있을 것으로 판단된다.

(9) 소결

위험도 시설 : 저수조, 탱크(깊이가 1.6m 제외)

〈표 52〉 순수 시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
가능성 있음	산소결핍	질식성 가스 유입	진입 시 작업 중
매우 높음	추락	깊이 최대 7m 비정방형 형태 맨홀 작업 시 환기 상태 이동식 사다리 사용 가능성	진입 시 작업 중

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

다) 소화 시설

(1) 산소결핍 위험

소화 시설은 용수 시설과 연결되어 있어, 지속적으로 이동하고 있어 혐기성 미생물 서식 가능성이 낮다. 그 외 연소, 화학반응, 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

실제 소화 시설에서 측정한 결과 〈표 40〉에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(2) H₂S 중독 위험

산소 결핍에서 보는 바와 같이, 혐기성 미생물 서식 가능성이 없어 H₂S 중독 위험이 낮을 것으로 판단된다.

〈표 40〉에서 보는 바와 같이, 실제 소화 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(3) CO₂ 중독 위험

혐기성 미생물 서식 및 내부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없고, 화학 반응에 의한 CO₂ 중독 가능성도 없다. 〈표 40〉 측정 결과 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(4) CO 중독 위험

소화 시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

〈표 40〉에서 보는 바와 같이, 실제 오수 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

(5) 화학 중독 위험

용수로 화학물질 중독 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

(6) 화재·폭발

소화 시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성이 낮다. 내용물이 용수로 화재·폭발 가능성도 낮을 것으로 판단된다.

(7) 추락

소화 시설은 대부분 시설에 고정형 사다리가 설치되어 있으며, 상부를 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 깊이가 약 2m 이하로 추락 위험은 낮을 것으로 판단된다.

(8) 구조 복잡성

대부분의 시설의 밀폐공간 작업 위치는 상부에 있다. 작업 시 상부를 부분 개방하고, 보조 도구(구조용 삼각대) 설치가 가능하다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

(9) 소결

고 위험도 시설 : 없음

4) 화학원료 보관시설의 위험도 분석

가) 산소결핍 위험

화학 물질 독성으로 인해 혐기성 미생물 서식 가능성이 낮으며, 연소 과정 및 부식성 물질은 없다. 질식성 가스(질소) 유입 가능성은 있다.

따라서 산소 결핍 위험도가 있을 것으로 판단된다.

화학원료 시설에서 측정한 결과 <표 41>에서 보는 바와 같이 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 용수를 이용한 세척 작업과 상부와 측면부 부분 개방한 후, 환기를 실시하고 나서 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

나) H₂S 중독 위험

산소 결핍에서 보는 바와 같이, 혐기성 미생물 서식 가능성이 없어 H₂S 중독 위험이 낮을 것으로 판단된다.

<표 41>에서 보는 바와 같이, 실제 소화 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

다) CO₂ 중독 위험

내부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없고, 밀폐공간 작업 전 용수 세척 작업을 통한 화학 반응에 의한 CO₂ 중독 가능성도 낮을 것으로 판단된다.

<표 41>에서 보는 바와 같이, 실제 소화 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

라) CO 중독 위험

화학원료 보관시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

<표 41>에서 보는 바와 같이, 실제 소화 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

마) 화학 중독 위험

화학원료 보관시설에서 화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인 할 수 없으나, 밀폐공간 작업 전 용수세척을 하고 있어 잔류 화학물질에 대한 중독 위험성은 낮을 것으로 판단된다. 작업 전,후 화학물질별 농도를 측정하여 관리할 필요성이 있어 보인다.

바) 화재·폭발

화학원료 보관시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질을 사용하고 있지 않고 산소 유입 가능성이 낮다. 작업 전 용수세척을 하고 있어 화재·폭발 가능성도 낮아 화재·폭발 위험도가 낮다.

사) 추락

대부분 시설 외부에 고정형 사다리가 설치되어 있으나, 내부에는 없다. 형태가 비정방형이고, 깊이가 최고 6.2m이다. 측면에서 출입이 이루어지나, 상부 작업 시 추락 위험이 높을 것으로 판단된다.

아) 구조 복잡성

화학원료 보관시설에서 탱크의 작업 위치는 상부에 있다. 작업 시 상부 및 측면부를 부분 개방한다. 출입구가 좁으며, 비정방형 형태이다. 보조도구(구조용 삼각대) 사용에 어려움이 있어, 위험도가 높을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

자) 소결

위험도 시설 : 탱크

〈표 53〉 화학원료 보관시설의 위험도 분석

위험도 *	위험 요인	분류내용	위험시점
매우 높음	추락	깊이 최대 6.2m 비정방형 형태 맨홀 작업 시 환기 상태 이동식 사다리 사용 가능성	진입 시 작업 중 (상부 작업 시)

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

5) 대기오염 방지시설의 위험도 분석

가) 산소결핍 위험

대기오염 방지시설은 주기적으로 대기오염 물질 측정 및 화학물질 독성으로 인해 혐기성 미생물 서식 가능성이 낮을 것으로 판단된다. 그 외 연소, 질성 가스 유입 가능성은 없다.

따라서 산소 결핍 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부와 측면부 부분 개방한 후, 환기를 실시하고 나서 측면부에서 작업자를 투입하고 있어, 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

나) H₂S 중독 위험

산소 결핍에서 보는 바와 같이, 혐기성 미생물 서식 가능성이 없어 H₂S 중독 위험이 낮을 것으로 판단된다.

다) CO₂ 중독 위험

내부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없으나, 흡수제 및 흡착제에 의한 화학 반응으로 인해 CO₂ 중독 가능성은 있을 것으로 판단된다.

라) CO 중독 위험

대기오염 방지시설에서 연소작업은 없으며, 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다.

마) 화학 중독 위험

작업 전 환기를 실시하고 있으나, 다양한 화학물질을 흡수·흡착한 물질로 인해 화학 중독 가능성이 있을 것으로 판단된다.

바) 화재·폭발

산소 유입 가능성은 없으나, 다양한 화학물질을 흡수·흡착한 물질로 화재 및 폭발 위험도 가능성이 있다.

사) 추락

대기오염 방지시설은 고정형 사다리가 설치되어 있고, 상부와 측면부를 부분 개방한 상태에서 작업이 이루어진다. 형태가 비정방형이고, 깊이가 최고 8 m 정도로 깊으나, 출입구가 측면부와 하부에 위치하고 있어 추락 위험은 낮을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업은 시작 전에 상부 개방 작업을 실시 중이나, 상부에 작업 공간과 안전난간이 설치되어 있어 추락 위험은 낮을 것으로 판단된다.

아) 구조 복잡성

대기오염방지 시설 밀폐공간 작업 위치는 상부에 있다. 작업 시 상부 및 측면부를 부분 개방하고 있다. 출입구가 좁으며, 비정방형 형태이다. 보조도구(구조용 삼각대) 사용에 어려움이 있어, 위험도가 있을 것으로 판단된다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

자) 소결

위험도 시설 : 흡착탑, 흡수탑

〈표 54〉 대기오염 방지시설의 위험도 분석

위험도 *	위험 요인	분류내용	위험시점
가능성 있음	CO2 중독 위험	잔류 화학물질 오염원을 흡착한 활성탄	진입 시 작업 중
가능성 있음	CO 중독 위험	잔류 화학물질 오염원을 흡착한 활성탄	진입 시 작업 중
가능성 있음	화학중독	잔류 화학물질 오염원을 흡착한 활성탄	진입 시 작업 중
가능성 있음	화재·폭발	잔류 화학물질 오염원을 흡착한 활성탄	진입 시 작업 중

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

6) 전력점검 시설의 위험도 분석

가) 산소결핍 위험

빛물이 장기간 고여 있을 가능성이 있어, 혐기성 미생물 서식 가능성이 높다. 형태는 비정방향으로 환기 위험도가 높다. 부식성 물질 및 질식성 가스 유입 가능성은 없다.

〈표 42〉에서 보는 바와 같이, 전력점검 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

밀폐공간 1개소에 2개의 맨홀이 있다. 작업 시작 전에 상부를 완전히 개방한 후, 1개소의 맨홀에 급기를 실시하고 있다. 환기를 완료한 후 작업자를 투입하고 있어 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

나) H2S 중독 위험

산소결핍에서 보는 바와 같이 혐기성 미생물 서식으로 인한 H2S 중독 가능성이 높다.

〈표 42〉에서 보는 바와 같이, 전력점검 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

다) CO₂ 중독 위험

전력점검 시설에서 외부 가스(CO₂) 유입 가능성은 없다. 다만 혐기성 미생물 서식으로 CO₂ 발생 가능성이 있다.

〈표 42〉에서 보는 바와 같이, 실제 전력점검 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

라) CO 중독 위험

전력점검 시설에서 연소작업은 없으며 화학물질 반응에 의한 CO 발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

〈표 42〉에서 보는 바와 같이, 실제 전력점검 시설에서 측정한 결과 모두 대기 중 농도와 유사한 농도를 보이고 있다.

마) 화학 중독 위험

전력점검 시설에서 화학물질별 측정 결과 값이 없어 정확한 농도는 확인할 수 없으나, 장기간 고여있는 빗물로 화학물질 중독 위험도는 낮을 것으로 판단된다.

바) 화재·폭발

전력점검 시설에서는 가연성 가스, 인화성 물질의 존재 및 산소 유입 가능성이 낮고, 내부 물질이 장기간 고여있는 빗물로 화재·폭발 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

사) 추락

전력점검 시설은 형태가 비정방형이고, 깊이가 최고 2.7m이나, 고정형 사다리가 설치되어 있어, 추락 위험은 있을 것으로 판단된다.

아) 구조 복잡성

전력점검 시설의 작업 위치는 하부에 있다. 출입구가 좁으며, 형태는 비정방형이다. 보조도구(구조용 삼각대) 사용이 가능하나, 위험도가 있을 것으로

판단된다.

밀폐공간 작업 시 보호구 및 구조용 도구를 현장에 비치하고 있으며, 밀폐 공간 점검 체크리스트와 구조 계획서를 작성하여 사전에 인지함으로써 위험도가 낮을 것으로 판단된다.

자) 소결

위험도 시설 : 맨홀

〈표 55〉 전력점검 시설의 위험도 분석

위험도*	위험 요인	분류내용	위험시점
높음	산소결핍	혐기성 미생물의 서식 작업 시 환기상태	작업 전 작업 중
높음	H2S 중독 위험	혐기성 미생물의 서식 작업 시 환기상태	작업 전 작업 중
높음	CO2 중독 위험	혐기성 미생물의 서식 작업 시 환기상태	작업 전 작업 중
가능성 있음	추락	깊이가 2.7m 이상 비정방형 형태	진입 시 퇴장 시

* 위험도 : 산소결핍, 화학중독, 화재·폭발, 추락

제 5 절 밀폐공간 작업의 안전관리방안

작업 및 작업장 안전을 확보하기 위해서는 먼저 그 작업이나 작업에서 발생하거나 발생할 가능성이 있거나 높은 유해위험요인을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 유해위험요인의 종류와 특성 그리고 발생 원인과 함께 발생 양상 및 패턴을 알면 이러한 위험으로부터 안전을 확보할 수 있다.

물론 밀폐공간의 위험요인에 대해서는 이미 앞에서 충분히 살펴본 바와 같이, 산소결핍으로 인한 질식, 황화수소, 일산화탄소와 같은 유독가스, 이산화탄소와 같은 질식성 가스 그리고 화재폭발 등이 익히 널리 알려져 있다. 따라서 밀폐공간은 이와 같은 유해위험요인이 있다고 가정하고 필요한 조치를 충

분히 다 취한 작업을 하면 사고나 직업병을 예방할 수 있을 것이다.

그러나 모든 밀폐공간에서 이러한 유해위험요인이 발생하는 것은 아니다. 물론 모든 밀폐공간은 위와 같은 유해요인이 잠재적으로 발생할 가능성이 있다. 그러나 그렇다고 해서 어떤 유해요인이 언제, 얼마나, 발생하는지 정확히 모른 채, 모든 유해위험요인이 발생할 수도 있다는 것을 전제로 하여 모든 안전조치를 취하도록 하고, 그에 대비하여 모든 안전보호구를 착용한 후 작업하라는 것은 비효율적일 뿐만 아니라 작업능률은 물론이고 안전 측면에서도 결코 바람직한 것만은 아니다.

예를 들어, 산소결핍 우려가 전혀 없는 밀폐공간이 경우에는 굳이 공기공급식 호흡보호구나 자가공기공급식 호흡보호구(SCBA; Self-Contained Breathing Apparatus)를 착용할 필요가 없다. 밀폐공간 내부에 산이나 알칼리 같은 물질의 농도나 양이 미미하여 굳이 내산복을 입을 필요가 없음에도 불구하고, 혹시 모를 위험에 대비하여 전신 내산복과 내화장갑, 내화장화를 착용하도록 하고 전면형 공기공급식 호흡보호구를 착용하도록 하는 것은 그 자체로 작업자에게 과도한 신체적 부담을 주며, 신체 활동에 제약을 받아 그로 인하여 새로운 사고나 건강장해 위험이 발생할 수도 있다.

본 연구에서 전자제품 제조업의 밀폐공간 특성과 위험도를 분석한 이유는 궁극적으로 밀폐공간의 유해위험으로부터 작업자를 보호하기 위함이었다. 따라서 본 연구에서 파악한 전자제품 제조 사업장의 밀폐공간에 대하여 용도별로 그 특성과 유해위험요인의 발생가능성 등을 기반으로 밀폐공간 작업의 안전 확보방안을 제시하고자 한다.

1) 전제조건

본 연구에서 제시하는 밀폐공간 작업의 안전 확보방안은 본 연구의 대상인 전자제품 제조업의 밀폐공간을 대상으로 하는 만큼 다음과 같은 사항을 전제로 한다.

첫째, 본 연구에서 파악한 밀폐공간과 다른 특성을 보이는 사업장이나 업종의 경우에는 각각의 밀폐공간 특성과 유해위험요인을 확인한 후, 적절한 개선

방안을 적용하거나 마련해야 한다. 본 연구에서 제시하는 밀폐공간 관리방안의 기본틀은 평소에 밀폐공간의 특성을 파악하고 평상시와 비상시 그리고 작업 전에 산소농도 변화와 유해가스 농도를 측정하여 데이터 베이스를 만들어 놓아야 한다는 점이다.

둘째, 본 연구는 정상적으로 가동되거나 운영되는 밀폐공간을 전제로 한 것이다. 비정상적인 가동이나 이상 상태에서의 밀폐공간 작업은 최악의 시나리오를 가정으로 하는 것이 필요하다. 특히 장기간 방치되었거나 사용하지 않은 유휴시설의 경우, 밀폐공간 내부에 산소 고갈이나 혐기성 미생물의 증식으로 인한 황화가스 등이 발생되어 있을 가능성이 있으므로 주의 해야 한다.

셋째, 거의 모든 밀폐공간에서 추락의 위험이 있는 것으로 나타났다. 일부 극히 소형 밀폐공간을 제외하고는 대부분의 밀폐공간은 깊이가 2 m으로 밀폐공간 내부로 진입할 때와 외부로 나올 때 추락위험이 있는 것으로 나타났다. 특히 밀폐공간은 평소 사람의 통행이 없는 공간으로 탱크 등 내부에 고정식 사다리 등 적절한 통로가 확보되어 있지 않는 경우가 있다. 또한 입구 주변도 추락 방지를 위한 시설물이 없는 경우가 많고, 밀폐공간 출입구가 좁거나 출입이 불편한 곳에 위치한 경우도 많다. 특히 깊이가 6 m 이상인 밀폐공간에 이동식 사다리를 통하여 출입하는 경우에는 각별한 주의가 필요하다. 왜냐하면 상업용 이동식 사다리는 최대 길이가 6 m이기 때문이다.

넷째, 모든 밀폐공간은 작업특성이 무관하게 작업 전과 중간에 반드시 산소농도와 유해가스 농도가 정상인지 확인하여 만약의 위험에 대비해야 한다.

2) 밀폐공간별 관리 매뉴얼 및 자료 DB화

지금까지는 모든 밀폐공간에 대해 그 특성이나 유해위험요인의 발생 가능성을 고려하지 않은 채, 법적인 요구사항이나 밀폐공간 가이드라인을 모두 준수하는 방식으로 관리해 왔다. 그러나 본 연구를 통하여 같은 공정상에 있는 밀폐공간이라 하더라도 각각 물리적, 화학적, 생물학적 특성이 다른 것으로 나타난 만큼 제조업과 같이 특정한 장소에 고정되어 설치되어 있고, 특정한 용도로 사용되는 밀폐공간은 각 용도별 또는 유사한 밀폐공간별로 밀폐공간

관리 매뉴얼을 마련하는 것이 필요하다고 판단되었다.

밀폐공간 관리 매뉴얼에 첫 번째 단계는 평상시 정상적인 가동을 하는 상태에서 내외부 상황을 파악하고, 기록하는 것이다. 모든 데이터는 데이터베이스(DB)화하여, 시간별 변화추이를 파악할 수 있도록 하고, 작업 전, 중간, 작업 후의 산소 및 가스 농도 등도 모두 DB화하여, 과학적인 관리가 되도록 한다.

3) 용도별 밀폐공간의 주요위험과 관리방안

가) 산폐수 처리시설

정상적으로 가동 중인 산폐수 처리시설의 밀폐공간의 외부는 위험요인이 발견되지 않았다. 가동 중 밀폐공간 내부에 산소농도 및 유해가스가 높게 나타난 곳은 조정조와 반응조였으며, 집수조, 응집조, 침전조는 대기 중의 공기와 같았다.

따라서 가동 중인 밀폐공간, 특히 조정조와 반응조는 신체의 일부 특히 얼굴이나 호흡기 부분을 밀폐공간 내부로 들이지 말아야 한다. 평소에 밀폐공간은 출입을 금지하도록 관리하고 있으며 시건장치 등으로 잠궜지만, 허가된 관리자 등은 밀폐공간 내부의 상태를 파악하기 위해 밀폐공간 출입구나 뚜껑을 열고 고개를 안쪽으로 넣는 경우가 발생할 수도 있다. 조정조와 반응조 내부는 산소농도와 이산화탄소 등의 농도가 일시적으로 매우 높은 수준으로 올라가는 경우가 있으므로 가동 중인 조정조와 반응조의 경우에는 잠시라도 머리부분이 조정조 및 반응조 내부로 들어가지 않도록 해야 한다. 조정조와 반응조와 같은 밀폐공간의 내부 상황을 살펴야 하는 경우가 있다면 투명창이나 원격 카메라 등을 통해 내부상황을 살펴볼 수 있도록 조치를 취하는 것이 필요할 것이다.

가동을 멈추고 밀폐공간 내부작업을 하는 경우는 내부의 폐수를 배수한 후 산소 및 가스 농도를 측정하여 이상 유무를 확인한다. 이때 산폐수 밀폐공간의 공기는 정상적인 대기와 같으며 특별한 이상이 발생하지 않는다. 이럴 경우에는 통상적인 밀폐공간 안전조치와 같이 작업 전, 중간, 작업 후에 산소

및 유해가스를 측정하여 이상여부를 확인한 후 작업을 하도록 하면 될 것이다. 가동을 멈춘 후 폐수를 모두 배수하고 측정한 내부 공기의 산소, 유해가스 측정결과가 이상이 없다면 통상적인 밀폐공간 작업절차만 준수하면 될 것으로 보인다.

만약 가동을 멈추고 폐수를 배수한 이후에 측정한 내부 공기의 산소 및 유해가스 농도에 이상이 있을 경우에는 반드시 충분히 환기한 후, 안전한 상태를 확인하여야 하며, 통상적인 밀폐공간 안전조치보다 한단계 높은 안전조치를 고려할 필요가 있다.

나) 유기폐수 처리시설(무산소조 및 호기조 제외)

유기폐수 처리시설(무산소조 및 호기조 제외)에서의 유해·위험 요인 중 가장 높은 항목은 추락이며, 관련 밀폐공간은 집수조, 조정조, 반응조, 응집조 등이며, 가동 중 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

고정식 사다리가 설치되어 있으나, 상시 폐수에 잠겨 있는 상태로 작업 전 부식 및 손상 여부를 확인한 후 사용해야 한다. 또한, 유지 보수 업체에서 작업 시 일부 이동식 사다리 사용 가능성이 있다. 이동식 사다리의 적절성 여부는 사다리의 깊이, 안전 인증(미끄럼 방지, 안전 락킹 시스템 등)을 받은 이동식 사다리인지 여부, 작업 장소의 평탄한 지형 여부, 잠금 장치의 고정 여부 등을 통해 관리가 필요하다.

작업 전 산소 및 유해가스 농도를 측정한 후, 측정 결과에 이상이 없다면 통상적인 밀폐공간 절차만 준수하면 될 것으로 판단된다. 만약 측정 결과에 이상이 있다면, 즉시 환기 후 원인을 파악하고, 조치 후 작업을 실시해야 한다.

다) 무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설

무산소조 및 호기조 유기폐수 처리시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 산소 결핍, H₂S 중독, CO 중독, 추락이며, 관련 밀폐공간은 무산소조와 호기조이다. 가동 중 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도

수준으로 확인되었다.

호기성 또는 혐기성 미생물을 이용한 폐수 처리 방식으로 작업 전 충분한 환기를 실시해야 하며, 산소 및 유해가스 농도를 측정한 후 작업해야 한다. 측정 결과가 정상 범위 내에 있더라도 대기 중 공기 수준 이상 또는 이하로 나타나는 경우에는 원인을 확인한 후 작업을 진행해야 한다.

유수 보수 작업 시 이동식 사다리를 사용할 가능성이 있다. 일부 호기조는 깊이가 6m로, 이동식 사다리 사용이 적합한 장소인지, 안전 인증을 받은 제품인지 확인하는 과정이 필요하다.

라) 박리폐수 처리시설

박리 폐수 처리시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 추락이며, 관련 밀폐공간은 집수조와 탱크이다. 가동 중 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

고정식 사다리가 설치되어 있으나, 상시 폐수에 잠겨 있는 상태로 작업 전 부식 및 손상 여부를 확인한 후 사용해야 한다. 또한, 유지 보수 업체에서 작업 시 일부 이동식 사다리 사용 가능성이 있다. 이동식 사다리의 적절성 여부는 사다리의 깊이, 안전 인증(미끄럼 방지, 안전 락킹 시스템 등)을 받은 이동식 사다리인지 여부, 작업 장소의 평탄한 지형 여부, 잠금 장치의 고정 여부 등을 통해 관리가 필요하다.

작업 전 산소 및 유해가스 농도를 측정한 후, 측정 결과에 이상이 없다면 통상적인 밀폐공간 절차만 준수하면 될 것으로 판단된다. 만약 측정 결과에 이상이 있다면, 즉시 환기 후 원인을 파악하고, 조치 후 작업을 실시해야 한다.

마) 종합폐수 처리시설

종합폐수 처리시설에서의 유해·위험 요인 중 가장 높은 항목은 추락이며, 관련 밀폐공간은 집수조, 조정조, 반응조, 응집조 등이다. 가동 중 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

고정식 사다리가 설치되어 있으나, 상시 폐수에 잠겨 있는 상태로 작업 전

부식 및 손상 여부를 확인한 후 사용해야 한다. 또한, 유지 보수 업체에서 작업 시 일부 이동식 사다리 사용 가능성이 있다. 이동식 사다리의 적절성 여부는 사다리의 깊이, 안전 인증(미끄럼 방지, 안전 락킹 시스템 등)을 받은 이동식 사다리인지 여부, 작업 장소의 평탄한 지형 여부, 잠금 장치의 고정 여부 등을 통해 관리가 필요하다.

작업 전 산소 및 유해가스 농도를 측정한 후, 측정 결과에 이상이 없다면 통상적인 밀폐공간 절차만 준수하면 될 것으로 판단된다. 만약 측정 결과에 이상이 있다면, 즉시 환기 후 원인을 파악하고, 조치 후 작업을 실시해야 한다.

바) 오수 시설

오수 시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 산소결핍, H₂S 중독, CO₂ 중독, 추락이며, 관련 밀폐공간은 맨홀이다. 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

장기간 내부물질이 고여 있을 가능성이 높아 혐기성 미생물에 의한 산소결핍 가능성이 높으므로, 작업 전에는 충분한 환기가 이루어진 후, 산소 및 유해가스 농도 측정을 확인한 후 작업이 이루어져야 한다. 또한 내부 작업 시 유해가스가 발생할 수 있으므로 지속적인 산소 및 유해가스 모니터링이 필요하다.

또한, 맨홀은 비정방형 형태이므로 작업 전 비상 상황을 고려하여 사전에 구조 방법을 확인하는 과정이 필요하다.

사) 우수 차단시설

우수 차단시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 산소 결핍, H₂S 중독, CO₂ 중독, 추락이며, 관련 밀폐공간은 집수조와 맨홀이다. 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

장기간 내부물질이 고여 있을 가능성이 높아 혐기성 미생물에 의한 산소결핍 가능성이 높으므로, 작업 전에는 충분한 환기가 이루어진 후, 산소 및 유해가스 농도 측정을 확인한 후 작업이 이루어져야 한다. 또한 내부 작업 시

유해가스가 발생할 수 있으므로 지속적인 산소 및 유해가스 모니터링이 필요하다.

또한, 맨홀은 비정방형 형태이므로 작업 전 비상 상황을 고려하여 사전에 구조 방법을 확인하는 과정이 필요하다.

아) 용수 시설

용수 시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 산소 결핍, H₂S 중독, CO 중독, 추락이며, 관련 밀폐공간은 저수조와 맨홀이다. 가동 중 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

저수조 및 탱크는 밀폐공간 작업 시 저수조 내부 용수를 배출한 후 산소 및 유해가스 농도를 측정하고 있다. 측정 결과에 문제가 없다면, 통상적인 작업 절차만 준수하면 될 것으로 판단된다.

그러나 용수시설로 분류된 맨홀의 경우에는 다르게 접근해야 한다. 내부에 용수 배관이 지나가는 일반적인 형태로, 혐기성 미생물에 의한 산소 결핍 가능성이 높다. 따라서 작업을 시작하기 전에 반드시 환기 작업을 실시하고 내부 상태를 확인하는 과정이 필요하다. 또한, 맨홀이 비정방형 형태를 갖고 있으므로 작업 중 발생할 수 있는 비상 상황을 대비해 사전에 구조 방법을 충분히 숙지하고 준비하는 것이 중요하다.

용수 저수조는 다른 시설에 비해 최대 깊이가 9m로 깊다. 대부분 고정식 사다리가 설치되어 있으나, 계단참 설치를 통한 위험도 감소가 필요하며, 일부 저수조는 입구가 측면에 위치하고 있어 비상 상황을 고려하여 충분한 길이의 구멍 로프를 구비해야 한다.

자) 순수 시설

순수 시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 질식성 가스 배관 연결에 따른 산소 결핍과 추락이며, 관련 밀폐공간은 저수조와 탱크이다. 가동 중 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

순수 시설 밀폐공간 작업은 작업 시 내부에 순수를 완전히 비우고 작업이 이루어지고 있다. 통상적인 밀폐공간 안전 조치로 작업 전, 중, 후 산소 및

유해가스 농도 확인을 통해 이상이 없다면 통상적인 절차만 준수할 것으로 사료된다. 다만 탱크의 경우 질식성 가스(질소) 배관이 연결되어 있으므로 Lock out Tag out(LOTO) 시스템을 통한 안전하게 차단된 상태에서 작업이 이루어질 수 있도록 해야한다.

차) 소화 시설

밀폐공간 작업 시에는 저수조 내부 용수를 배출 후 산소 및 유해가스 농도를 측정하고 있다. 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

측정 결과에 문제가 없다면, 통상적인 작업절차만 준수하면 될 것으로 판단된다.

카) 화학원료 보관시설

화학 원료 보관시설에서의 유해·위험 요인 중 가장 높은 항목은 추락이며, 관련 밀폐공간은 탱크이다. 가동 중 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

밀폐공간 작업 하루 전 탱크를 용수로 채워 세척하는 등 화학물질 중독 위험도를 낮추고 있으나, 내부 공기의 산소 및 유해가스 농도에 이상이 있을 경우에는 반드시 충분히 환기한 후, 안전한 상태를 확인하여야 하며, 통상적인 밀폐공간 안전조치보다 한단계 높은 안전조치를 고려할 필요가 있다.

질식성 가스 배관과 관련해서는 밸브와 콕을 잠근 후 Lockout Tagout 절차를 거쳐야 하고, 가스 누출 감지기를 착용한 후 작업을 해야 한다. 또한 배관의 손상 상태를 사전 확인해야 한다. 밀폐공간 범위는 실내에 존재하는 설비로 한정하고 있으나, 연결 배관 손상 등으로 무색·무취인 질소가 누출되어 실내 전체가 질식 위험이 발생할 수 있는 밀폐공간으로 형성될 수 있어 상시 유해가스 누출 모니터링이 필요하다.

타) 대기오염 방지시설

대기오염 방지시설에서의 유해·위험 요인 중 가장 높은 항목은 CO₂ 중독, CO 중독, 화학 중독, 화재·폭발이다. 관련 밀폐공간으로는 흡수탑과 흡착탑이 있다.

작업 전 가스 측정기를 이용하여 화학 반응으로 발생할 수 있는 CO₂, CO, LEL을 확인한 후, 이상이 있거나 통상 대기 중 농도 이상이 발생하는 경우 추가적인 원인을 확인한 후 작업에 들어갈 필요가 있다. 또한, 작업 시 급기와 배기가 동시에 이루어지므로 밀폐공간 크기를 확인 후 배기의 배풍량이 더 높지 않도록 해야 한다.

파) 전력점검 시설

전력점검 시설에서의 유해·위험 요인 중 높은 항목은 산소 결핍, H₂S 중독, CO₂ 중독, 추락이며, 관련 밀폐공간은 맨홀이다. 내부와 외부 산소 및 유해가스 측정 결과 대기중 농도 수준으로 확인되었다.

전력점검 시설의 밀폐공간은 케이블 선로 점검용 맨홀로, 밀폐공간 하나에 두 개의 맨홀 출입구가 존재한다. 작업은 2년에 한 번 정도 이루어지며, 내부에 빗물이 고여 혐기성 미생물이 서식할 가능성이 높다. 따라서, 맨홀을 열 때 근로자가 얼굴을 내밀어 내부를 확인하는 일이 없도록 해야 한다. 또한, 밀폐공간 내부 내용물을 제거할 때는 2인 1조로 작업하며, 외부 작업자는 출입구에서 떨어진 곳에서 지원해야 한다. 내부 물질을 제거한 후 산소 및 유해가스 농도에 이상이 있을 경우 반드시 충분히 환기하여 안전 상태를 확보해야 한다.

비정형 형태의 공간으로 비상 상황을 고려하여 작업 전에 구조 방법 등을 사전에 숙지하고 작업할 필요가 있다.

제 4 장 결 론

밀폐공간은 밀폐라는 특성으로 인하여 중대재해가 발생할 수 있는 가장 위험한 공간 중의 하나이므로 모든 밀폐공간을 엄격하게 관리할 필요가 있다. 그러나 모든 밀폐공간이 똑같은 유해위험요인이 발생하거나 위험도가 동일한 것은 아니다. 밀폐공간의 안전하게 관리하려면 사전에 각 밀폐공간의 특성을 정확히 파악하고, 그에 맞는 적절한 조치와 관리를 해야 작업자의 안전과 건강을 보호할 수 있다. 본 연구는 모 전자제품 제조업의 밀폐공간 전체를 대상으로 용도와 특성을 파악하였다. 전자제품 제조업에는 일반적으로 제조업이 가지고 있는 여러 종류의 다양한 밀폐공간을 모두 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 비록 일개 전자제품 제조업을 대상으로 밀폐공간의 특성과 그에 따른 유해위험요인 특성 및 관리방안에 대한 것이지만, 유사한 제조업뿐만 아니라 특성이 유사한 밀폐공간을 가진 모든 업종에서 밀폐공간을 관리하는데 유용한 자료가 될 수 있을 것이다.

본 연구는 전자제품을 제조하는 상시근로자 5,000여명 규모의 대기업에서 보유하고 있는 364개소의 밀폐공간을 대상으로 깊이 및 크기와 같은 공간적 특성과 폐수, 오수 등 내용물의 화학적 특성과 폐수의 흐름 등 유체역학적 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 밀폐공간은 용도별로 크게 폐수, 오수 및 우수를 처리하는 시설, 공업용수나 생활용수와 관련된 시설, 화학원료 보관시설, 대기오염 방지시설 그리고 전력점검 공동구와 같은 시설 등 5가지로 구분할 수 있었다. 용도별로 분류하면 밀폐공간 내용물 특성을 파악하기 쉽고 무엇보다도 관리 주체가 명확해 진다는 장점이 있다.

둘째, 폐수, 오수 및 우수와 관련된 시설은 152개소로 전체 밀폐공간 364개의 42%로 차지하였으며, 폐수처리용이 119개소(33%), 오수처리용이 28개소(8%), 우수관련 시설이 5개소(1%)였다. 폐수는 산폐수, 유기폐수, 박리폐수 및 종합폐수 4가지로 나뉘며, 폐수의 성분에 따라 다른 방식으로 처리를 한다. 그러나 공간적으로는 집수조, 조정조, 반응조, 응집조, 침전조 등으로 유사하다. 공간의 크기는 매우 다양했으나 대부분 깊이 2m 이상으로 출입시 추

락 등의 위험요소가 있는 것으로 나타났다. 폐수는 정상 가동시 항상 흐르고 있고, 유기물의 농도가 아주 높지 않아서 혐기성 미생물이 대량으로 증식할 가능성은 낮아 산소결핍이 일어나거나 황화수소가 발생할 가능성은 낮았다. 다만 조정조와 반응조는 정상 가동시 내부에서 산소농도와 이산화탄소 농도가 매우 높게 올라가는 현상이 발견되었다. 이것은 폐수처리 과정에서 화학반응의 결과로 추정된다. 정상 가동시 밀폐공간으로 완전 밀폐상태이므로 안전보건상 문제는 없다. 다만 정상가동 시 점검을 위해 잠시라도 문을 개방하고 안쪽을 들여다보는 순간에도 사고가 발생할 수 있으므로 철저한 출입통제가 필요할 것으로 판단되었다. 오수시설은 대부분 맨홀 형태의 밀폐공간으로 청소 및 점검, 펌프 보수 등 내부 설비 유지를 위해 출입이 이루어지고 있었다. 오수시설은 혐기성 미생물의 서식 가능성이 있으므로 전형적인 밀폐공간의 위험이 있는 곳으로 나타났다.

셋째, 공업용수나 생활용수용 밀폐공간은 95개(26%)였다. 크기는 소형부터 대형까지 다양하지만 대부분 깊이가 2 m 이상으로 출입 시 추락의 위험이 있었다. 내용물은 물이므로 특별한 위험요소는 없었다. 밀폐공간 중에서 산소결핍이나 화학물질의 위험은 가장 낮은 곳이라고 할 수 있다. 다만 청소 등을 위해 약품을 사용하는 경우 충분한 환기가 필요하다.

넷째, 대기오염방지시설 밀폐공간은 52개소였는데 27개만이 형태나 크기를 파악할 수 있었다. 대기오염 방지시설은 그 자체가 거대한 밀폐공간이며, 특정부위의 유지보수 및 관리를 위해 출입을 하면 그곳이 밀폐공간 작업장소가 된다. 대기오염 밀폐공간도 대부분 깊이가 3 m 이상이며 8 m에 이르는 곳도 있으므로 추락 위험이 매우 높다고 할 수 있다. 또한 형태와 모양이 다양하여 매 단위작업마다 별도의 위험성평가와 안전조치 방안을 마련한 후 작업을 하도록 해야 할 것으로 판단되었다.

다섯째, 전력점검 시설의 밀폐공간은 11개소로 대부분 맨홀 형태의 지하 공간이다. 1개소마다 원형의 출입구가 2개 있고, 내부는 육면체인 비정방향으로 깊이 3 m 정도에 가로 3 m, 길이는 11 m였다. 전력점검 공동구는 특별한 유해요인이 없지만, 일반적으로 2년에 1회 정도 점검을 하므로 내부 환기가 매우 불량하다. 따라서 특별히 산소결핍에 주의가 필요하다.

여섯째, 이번 연구결과에서 제조업의 밀폐공간은 각 밀폐공간마다 물리적, 화학적, 생물학적 특성이 다르다는 점을 확인하였다. 따라서 제조업의 고정된 밀폐공간을 효율적이고 효과적으로 관리하기 위해서는 이러한 특성을 자료화 하여 각각의 밀폐공간별로 관리방안 또는 매뉴얼을 만들어 제공하는 것이 필요하다고 판단되었다. 다만 수시로 작업 위치가 바뀌거나 내부 형태가 복잡한 대기오염방지 시설의 경우 가가 단위작업을 실시할 때마다 사전 작업 계획서를 수립하고 작업허가를 받도록 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 박정수. (2015). 제한공간 위험성 평가 및 질식재해 예방에 관한 연구. 인천 : 인천대학교 안전환경시스템공학과
- 김도형. (2022). 위험성평가를 기반으로 한 밀폐공간의 안전사고 예방법. 인천: 인천대학교 인천대학교 공학대학원
- 신영호. (2017). 밀폐공간의 재해발생 원인 및 관리대책에 관한 연구. 서울 : 서울과학기술대학교 에너지환경대학원
- 송한식. (2023). 석유화학 플랜트 밀폐공간 작업 안전관리 모니터링 시스템 설계 및 구축. 서울 : 숭실대학교 안전융합대학원
- 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. (2008). 밀폐공간 작업종류별 질식재해 요인 파악 및 예방대책에 관한 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
- 고용노동부. (2024) 산업안전보건법. 고용노동부.
- 한국산업안전보건공단. (2021). 밀폐공간 작업프로그램 수립 및 시행에 관한 기술지침. 한국산업안전보건공단
- 한국산업안전보건공단. (2015). 밀폐공간 위험관리에 관한 기술지침. 한국산업안전보건공단
- 한국산업안전보건공단. (2020). 이동식 사다리의 제작에 관한 기술지침. 한국산업안전보건공단
- 한국산업안전보건공단. (2022). 고정식 사다리의 제작에 관한 기술지침. 한국산업안전보건공단
- 한국산업안전보건공단. (2020). 호흡보호구의 선정·사용 및 관리에 관한 지침. 한국산업안전보건공단

2. 국외문헌

Occupational Safety and Health Administration(OSHA) 29 CFR 1910.146

Permit-required confined spaces.

Occupational Safety and Health Administration(OSHA) 29 CFR 1910.134

Personal Protective Equipment.

Occupational Safety and Health Administration(OSHA) 29 CFR1910.23

Walking-Working Surfaces.

Damien Burlet-Vienney, Yuvin Chinniah, Ali Bahloul, and Brigitte

Roberge. (2016). Risk analysis for confined space entries: Critical analysis of four tools applied to three risk scenarios. JOURNAL OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL HYGIENE

ABSTRACT

A study on risk analysis and accident prevention
measures by the characteristics of the confined
spaces in an electronic parts manufacturing industry

Kang, Man-Suk

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

Confined spaces are among the most dangerous workplaces in occupational safety. They are enclosed and not well-ventilated and often remain unoccupied for long periods of time. Therefore, they can be subject to decay and corrosion, depleting oxygen and accumulating harmful gases, which can cause fatal accidents. These hazards can cause immediate death or catastrophic health impairment, which is often irreversible if an accident occurs. In addition, the small size of the entrances and the long depth and distances from the inside worksite to the exits make immediate rescue difficult. Therefore, taking thorough precautions when working in confined spaces is essential. However, not

every confined space poses the same hazards, although confined spaces are dangerous. The physical characteristics of the confined space, such as the size of the entrance or space, the chemical characteristics, such as the air or chemicals inside, and the biological characteristics, such as the type and amount of microorganisms, vary depending on the purpose of the confined space. Therefore, it is essential to accurately identify the characteristics of each confined space and prepare appropriate safety measures and management plans based on the attributes of harmful agents and physical characteristics of confined spaces.

To identify the characteristics and risks of enclosed spaces in the manufacturing industry, this study identified all enclosed spaces in one electronics manufacturing company, categorised them by each use, and examined their characteristics to determine what harmful risk factors are present in each enclosed space. Since the electronics manufacturing industry has all the various types of confined spaces that manufacturing industries in general have, the results of this study will be helpful in managing confined spaces not only in the general manufacturing industry but also in all industries with similar confined spaces.

The workplace targeted in this study was an electronics manufacturing industry with about 5,000 full-time workers. The confined spaces were categorised into five main types by use: facilities related to wastewater, sewage, and stormwater (152, 42%), facilities related to industrial or domestic water (95, 26%), chemical raw material storage (54, 15%), air pollution prevention facilities (52, 14%), and electricity inspection common areas (11, 3%). Categorisation by use has the advantage of making it easier to characterise the contents of the confined space and, most importantly, to identify the management entity. The most common physical accident hazard in all confined spaces was falls. Almost all confined spaces were more than 2 metres deep and presented a fall hazard when entering or exiting. Some confined spaces were deeper than

the length of a commercially available portable ladder, with a maximum length of 6 m. In addition, some had narrow doorways in the middle of the ceiling, further increasing the risk of falling when descending. The nature of these confined spaces justified the inclusion of falls as a significant hazard in confined spaces.

Different types of confined spaces have different materials, inputs, and storage periods, which can result in different harmful gases and oxygen levels. Wastewater treatment plants, which have the largest number of confined spaces in the manufacturing industry, were found to have very low concentrations of contaminants in the wastewater, mainly in the form of aqueous solutions and sealed during operation, so there was little potential for exposure to airborne mists or chemicals such as organic solvents. Most confined space hazards occur when workers enter after the plant has been shut down and drained of its contents for maintenance and cleaning. However, oxygen or harmful gas concentrations can rise inside some confined spaces during operation, so if it is necessary to inspect or check the inside of an operating confined space, it is important to ensure that workers do not stick their heads inside, even briefly. For example, in wastewater treatment facilities, the concentration of oxygen in the adjustment tank and reaction tank can temporarily exceed 23%, and the concentration of carbon dioxide can exceed 1.5%.

In treatment facilities that use sewage or microorganisms to purify pollutants, there is a risk of oxygen depletion by microorganisms or harmful gases such as hydrogen sulphide, so sufficient ventilation and measurement of oxygen and harmful gas concentrations before work are essential. In other confined spaces of general wastewater treatment facilities, there is little risk of oxygen deficiency and a low risk of harmful gas generation. Therefore, it is recommended to take safety measures similar to general work in confined spaces related to wastewater, except for sewage and microbial treatment facilities, if the

oxygen and harmful gas concentrations are normal in advance. However, it is necessary to ensure safety by periodically measuring oxygen and harmful gas concentrations during work. Air cleaning facilities have the highest uncertainty among the confined spaces in the manufacturing industry. The confined spaces of air cleaning facilities vary according to maintenance and cleaning schedules. Thus any parts of air cleaning facilities can be the confined space work site. This study examined 27 of the 52 currently designated confined spaces. The depths were more than 3 m, with many reaching 8 to 9 m. The structure and shape were relatively complex. Therefore, it is necessary to identify the characteristics of the space and hazards inside spaces prior to the workers' entrance. Since most other confined spaces are fixed in a certain location and have constant internal conditions, it was recommended that a specific manual be developed for each confined space.

【Key words】 Confined space, Categorisation by use, Air cleaning facilities