

보건분야-연구자료
연구원 2008-140-1477

밀폐공간 작업종류별 질식재해 요인 파악 및 예방대책 연구



한국산업안전공단
산업안전보건연구원

보건분야-연구자료
연구원 2008-140-1477

밀폐공간 작업종류별 질식재해 요인 파악 및 예방대책 연구

유계묵·박현희·정광재



한국산업안전공단
산업안전보건연구원

요 약 문

1. 연구 필요성 및 목적

- 국가적인 질식재해예방 노력에도 불구하고 매년 20여명의 질식재해 사망자가 지속적으로 발생하고 있으며 맨홀, 오폐수처리장, 배관, 탱크, 반응기 등과 같이 다양한 질식 및 중독재해 원인이 존재하나 국내에서는 밀폐공간의 작업별 특성이나 위험성을 고려한 대책 연구가 미흡한 실정이다.
- 1999년~2007년 기준 9년간 질식 재해자는 총 237명이며 이중 사망자 179명, 재해자는 58명으로 사망이 전체 질식재해의 약 75.5 %를 차지하고 있어 사망자 비율이 4명 중 3명꼴로 치사율이 매우 높다. 업종별로 분석하여 보면 건설업에서의 비중이 41.9 %로 가장 높으며, 다음으로는 제조업에서 27.9 %의 재해가 발생되고 있다.
- 국가별 통계산출방식의 차이로 직접적인 비교는 곤란하지만, 국가별 사망사고자를 분모로 한 1,000명당 밀폐공간 사망자 비가 일본 5.6명, 미국 6.0명, 영국 4.1명이나 한국은 12.8명으로 약 2.1~3.1배 높다
- 이번 연구에서는 공식발표자료외의 산재통계자료를 추가로 분석하여 우리나라에서 매년 발생하는 질식재해현황을 장소별, 위험인자별로 정확히 파악하고, 질식재해 주요발생작업에 대한 현장 실태조사를 실시하며, 일정한 크기의 밀폐용기에 주요물질을 저장하여 발생하는 가스를 분석하여 작업별, 인자별 질식재해 특성 및 위험성을 파악하고 그에 따른 예방대책을 선진외국의 질식재해예방 사례를 참고하여 국내 작업특성에 맞는 질식재해 예방대책으로 개발하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

- 질식재해의 작업종류별 특성·유해요인 및 위험성 수준파악
 - 중대재해조사보고서 사례를 분석한 기존의 밀폐공간 질식재해 통계(공단 발표자료)와 산업재해공식통계의 발생형태 중 산소결핍 및 유해화학물질 중독 사례를 분석하여 밀폐공간 질식재해 통계를 재작성하여 양 통계를 비교하고 정확한 질식재해자 현황을 파악
 - 맨홀, 오폐수처리장, 선박 등과 같이 국내에서 질식재해가 다발하는 작업 종류별 주요 유해요인을 분석
- 선진외국의 질식재해 재해현황 및 유해요인과 비교검토
 - 미국, 일본, 영국 등의 질식재해 발생현황 및 재해예방 관련 제도를 분석 비교하여 우리나라 제도의 개선방안 도출
- 질식재해 다발 작업에 대한 실태조사
 - 맨홀, 오폐수처리장(하수종말처리장, 옥내 폭기식 정화조, 옥내 부패식 정화조), 바지선, 식료품제조사업장 등에 대한 실태조사를 실시하여 밀폐공간 종류별 주요 위험인자를 파악하고 발생농도를 분석
- 주요 물질별 발생가스 분석실험
 - 일정한 크기의 밀폐공간을 제작하여 주요물질을 밀폐공간내에 보관하면서 주기별로 발생가스의 농도를 분석
 - 일부 발생가스에 대하여 전기화학식 직독식 측정기에 의한 측정값과 기타 분석기기에 의한 측정값을 비교하여 전기화학식 측정기의 신뢰도 확인
- 국내 작업특성에 맞는 질식재해 예방대책 개발
 - 밀폐공간의 종류별 발생가스 분석에 따른 예방대책 개발
 - 중대재해조사보고서 작성방법 및 정책적 대책 등 제시

3. 연구결과

- 기존의 중대재해조사결과에 의한 질식재해 발생현황과 산업재해통계의 재해 발생형태중 산소결핍사고 및 유해화학물질중독 사례를 분석하여 비교한 결과 질식재해자 통계의 많은 차이가 있었다. 기존의 중대재해조사 사례의 분석만으로는 질식재해의 정확한 발생현황을 파악하기 어려우며, 질식재해 분석을 위한 새로운 산업재해 발생형태 항목의 구성이 필요하다.
- 다양한 형태의 55개소 맨홀에 대한 가스농도를 측정결과 하수종말처리장 유입구 인근에 설치된 맨홀에서 황화수소가 평균 157 ppm으로 검출되어 가장 질식재해의 위험이 높은 맨홀로 나타났다.
- 하수종말처리장 내부지역의 밀폐공간에 대한 가스농도 측정결과 대부분의 밀폐공간에서 황화수소가 100 ppm 이상 검출되었고 저류조 내부에서는 황화수소의 농도가 500 ppm을 초과하였다. 옥내 정화조의 오수 펌핑작업 시에는 황화수소의 농도가 최고 287 ppm으로 측정되어 오폐수처리시설 내부는 매우 위험한 밀폐공간임을 알 수 있었다.
- 단무지 저장조에 대한 가스농도 측정결과 황화수소는 300 ppm을 초과하는 범위를 나타내었고 일산화탄소의 농도는 500 ppm을 초과하였다. 오수, 단무지 등 황화합물을 함유하고 있는 물질이 미생물에 의한 분해 및 산화작용시 황화수소와 일산화탄소가 높은 농도로 발생하는 것으로 보인다.
- 일정한 크기의 밀폐용기에 다양한 물질을 보관하면서 발생가스의 농도를 측정결과 단무지, 목재, 바나나 등을 투입한 용기내의 산소농도는 0.0~0.2%로서 거의 무산소상태를 보였다. 가열가공이 이루어지지 아니한 식품 및 식물을 저장하는 경우에는 미생물의 호흡작용과 비타민의 산화작용 등으로 인해 산소농도가 급격히 감소함을 알 수 있었다.
- 물질을 저장한 밀폐용기에서 발생하는 일산화탄소에 대하여 전기화학식 직독식 측정과 FTIR에 의한 측정을 동시에 실시한 결과 백태 용기와 바

나나 용기의 경우 직독식 측정값이 FTIR 측정값보다 각각 2배, 60배 이상 높은 농도로 검출되어 백태와 바나나 용기에서의 일산화탄소 직독식 측정값은 신뢰할 수 없다.

- 밀폐공간의 정의를 법률에서 일괄적으로 규정 또는 한정하는 대신 사업주가 근로자의 작업장소가 밀폐공간인지의 여부를 직접 평가하여 밀폐공간에 대한 출입허가 등 조치를 취하도록 하는 방안이 바람직하다.
- 작업장의 형태, 발생가능물질, 작업자 출입여부 등 작업공간의 특성에 관련된 자료를 입력하면 특정지역이 밀폐공간에 해당되는지의 여부를 사업주가 쉽게 판단할 수 있는 프로그램의 개발 및 보급이 필요하다.
- 맨홀에서 발생하는 질식재해가 전체 질식재해의 18 %를 차지하고, 선박에서 발생하는 재해의 상당수가 선박에 설치된 맨홀에서 발생하는 사고임을 감안하면 맨홀재해는 밀폐공간 전체 질식재해에서 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 맨홀내부 작업자에 대한 경각심을 고취시키기 위한 방법으로 맨홀 덮개에 주의문구를 기재하는 방안이 필요하다.

4. 활용 및 기대효과

- 밀폐공간의 정의 재정립 등 산업안전보건법 개정에 활용
- 맨홀, 식료품 저장소, 바지선, 오폐수처리장 등 밀폐공간의 작업종류별 특화된 교육홍보자료 제작에 활용
- 밀폐공간 발생가스에 대한 직독식 측정, FTIR 측정, 능동식 시료포집후 IC 분석 등 측정 및 분석방법의 정립에 활용
- 사업주의 밀폐공간 여부 판단 및 사전 작업서 작성에 활용

5. 중심어

밀폐공간, 질식재해, 산소결핍, 황화수소 중독, 맨홀

차 례

I. 서 론	15
1. 연구배경	15
2. 연구목적	17
II. 밀폐공간 질식재해 통계현황	18
1. 국내 질식재해 발생 현황	18
2. 국외 질식재해 발생현황	39
3. 밀폐공간재해의 국가별 비교	46
4. 질식재해 발생현황에 대한 고찰	65
III. 유해가스별 특성 및 건강영향	67
1. 산소	67
2. 황화수소	72
3. 일산화탄소	77
4. 이산화탄소	82
5. 휘발성유기화합물(VOC)	85
IV. 물질별 유해가스 발생 실험	88
1. 실험방법	88
2. 실험결과	92
3. 고찰	113
4. 직독식 장비의 분석농도 확인 실험	116

V. 밀폐공간 실태조사 및 작업특성 분석	125
1. 맨홀	125
2. 오폐수처리장	159
3. 단무지 제조업	170
4. 선박(바지선)	178
VI. 종합결론	188
부록 : 국가별 밀폐공간 예방대책 비교	194
1. 미국 OSHA 규정	194
2. 일본 후생노동성 규정	200
3. 영국 HSE 규정	216
4. 캐나다	222
참고문헌	226
영문초록	228

표 차 례

<표 II-1> 밀폐공간 질식재해 발생현황_중대재해 발생보고 자료(1999년 ~ 2007년)	18
<표 II-2> 밀폐공간 질식재해 발생현황_산업재해 공식통계 자료(1999년 ~ 2007년)	19
<표 II-3> 발생장소별 질식재해 발생현황(1999년 ~ 2007년)	20
<표 II-4> 기인물별 질식재해 발생현황(1999년 ~ 2007년)	31
<표 II-5> 업종별 질식재해 발생현황(1999년 ~ 2007년)	37
<표 II-6> 미국 노동통계국(BLS) 자료의 밀폐공간 유사재해 현황	40
<표 II-7> 미국 노동통계국(BLS) 자료의 기타화학물질 재해 기인물 현황 ..	40
<표 II-8> 일본에서의 산소결핍증 등 재해발생현황	43
<표 II-9> 영국 HSE 자료에 의한 추정 밀폐공간 재해 현황	45
<표 II-10> 각국의 산재사망자와 밀폐공간 관련 사망자의 비교 ('92~'06) 47	
<표 II-11> 밀폐공간 작업과 관련된 국가별 법적기준 종합 비교	61
<표 III-1> 표준대기 중 공기의 구성성분	69
<표 III-2> 산소농도에 따른 인체영향	70
<표 III-3> 대기압변화에 따른 산소분압과 산소농도 (Hultgren, 1992)	72
<표 III-4> 황화수소 물리화학적 특성	74
<표 III-5> 황화수소 노출기준	74
<표 III-6> 황화수소의 인체에 미치는 건강영향	76
<표 III-7> 일산화탄소 물리화학적 특성	79
<표 III-8> CO 폭로량과 건강영향	81

<표 III-9> 일산화탄소 노출기준	82
<표 III-10> 이산화탄소 물리화학적 특성	83
<표 III-11> 이산화탄소의 인체에 미치는 영향	85
<표 III-12> 이산화탄소 노출기준	85
<표 III-13> 휘발성 유기화합물의 위험성 구분	87
<표 III-14> 주요 물질의 위험농도	88
<표 IV-1> 유해가스 발생실험에 사용된 물질	90
<표 IV-2> 가스농도 측정장치 구성 현황	91
<표 IV-3> 측정가스	92
<표 IV-4> 생체의 산소 소비량	94
<표 IV-5> 저장물질별 산소 농도 변화현황	94
<표 IV-6> 저장물질별 일산화탄소 농도 변화현황	96
<표 IV-7> 저장물질별 휘발성유기화합물 농도 변화현황	98
<표 IV-8> 저장물질별 황화수소 농도 변화현황	100
<표 IV-9> 식품에 함유된 황화합물의 종류	101
<표 IV-10> 저장물질별 폭발하한값 농도 변화현황	102
<표 IV-11> 백태 저장용기 발생가스 농도	103
<표 IV-12> 단무지 저장용기 발생가스 농도	104
<표 IV-13> 오이피클 저장용기 발생가스 농도	105
<표 IV-14> 양조간장 저장용기 발생가스 농도	106
<표 IV-15> 양조식초 저장용기 발생가스 농도	107
<표 IV-16> 식용유 저장용기 발생가스 농도	108
<표 IV-17> 오수 저장용기 발생가스 농도	109
<표 IV-18> 목재 저장용기 발생가스 농도	110

<표 IV-19> 고철 저장용기 발생가스 농도	111
<표 IV-20> 바나나 저장용기 발생가스 농도	112
<표 IV-21> 저장물질별 주요 발생가스 농도	113
<표 IV-22> 일산화탄소 측정방법의 비교	114
<표 IV-23> 표준가스의 농도	121
<표 IV-24> FTIR 측정값과 복합가스측정기 측정값의 비교	124
<표 V-1> 측정가스별 측정범위, 분해능, 응답시간	131
<표 V-2> 거주지역과 공단지역의 가스농도 측정결과 비교	134
<표 V-3> 거주지 우수맨홀 가스 농도	135
<표 V-4> 공단 우수맨홀 가스 농도	136
<표 V-5> 거주지 오수맨홀 가스 농도	137
<표 V-6> 업종별 공단 오수맨홀 일산화탄소 농도	143
<표 V-7> 업종별 공단 오수맨홀 휘발성유기화합물 농도	144
<표 V-8> 업종별 공단 오수맨홀 황화수소 농도	145
<표 V-9> 업종별 공단 오수맨홀 가연성가스 LEL 농도	146
<표 V-10> 업종별 공단 오수맨홀 산소 농도	147
<표 V-11> 거주지역 우수맨홀 측정결과	150
<표 V-12> 공단지역 우수맨홀 측정결과	151
<표 V-13> 거주지역 오수맨홀 측정결과	151
<표 V-14> 도금단지 오수맨홀 측정결과	151
<표 V-15> 식료품 제조업 오수맨홀 측정결과	152
<표 V-16> 염색단지 오수맨홀 측정결과	152
<표 V-17> 제지공장 오수맨홀 측정결과	152
<표 V-18> 하수종말처리장 오수맨홀 측정결과	152

<표 V-19> 화학제품제조업 오수맨홀 측정결과	153
<표 V-20> 깊이별 발생가스 농도	154
<표 V-21> 오폐수처리장 개요	161
<표 V-22> 측정가스	166
<표 V-23> 처리장 A_하수종말처리장 유해가스 농도 측정결과	167
<표 V-24> 처리장 B_하수종말처리장 유해가스 농도 측정결과	168
<표 V-25> 처리장 C_부패조 유해가스 농도 측정결과	169
<표 V-26> 단무지 제조공정	171
<표 V-27> 단무지 제조사업장 개요	173
<표 V-28> 'A' 단무지 제조사업장 측정결과	176
<표 V-29> 'B' 단무지 제조사업장 측정결과	176
<표 V-30> 측정대상 바지선의 형식	180
<표 V-31> 바지선 측정결과	183

그 림 차 례

[그림 II-1] 밀폐공간 질식재해 발생현황_산업재해 공식통계 자료(1999년~2007년)	19
[그림 II-2] 오폐수 처리장 물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	21
[그림 II-3] 오폐수 처리장 작업내용별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	22
[그림 II-4] 오폐수 처리장 업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	22
[그림 II-5] 오폐수 처리장 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	23
[그림 II-6] 맨홀 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	24
[그림 II-7] 맨홀종류별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	24
[그림 II-8] 맨홀업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	25
[그림 II-9] 맨홀 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	25
[그림 II-10] 저장용기 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	26
[그림 II-11] 저장용기 업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	27
[그림 II-12] 저장용기 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	27
[그림 II-13] 밀폐작업장 별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	28
[그림 II-14] 밀폐작업장 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	29
[그림 II-15] 선박 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	29
[그림 II-16] 선박 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	30
[그림 II-17] 배관내부 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	31
[그림 II-18] 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)	32
[그림 II-19] 산소결핍 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)	32
[그림 II-20] 산소결핍 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)	33

[그림 II-21] 일산화탄소 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)	34
[그림 II-22] 일산화탄소 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)	34
[그림 II-23] 황화수소 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)	35
[그림 II-24] 황화수소 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)	35
[그림 II-25] 유기용제 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)	36
[그림 II-26] 유기용제 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)	36
[그림 II-27] 업종별 질식재해 발생 현황(1999년~2007년)	38
[그림 III-1] CO 폭로량과 COHb 레벨 관계(Peterson 1975)	81
[그림 IV-1] 밀폐공간 별 저장물질	92
[그림 IV-2] 밀폐공간 내 저장물질 발생가스 측정	92
[그림 IV-3] 저장물질별 산소농도 변화현황	95
[그림 IV-4] 저장물질별 일산화탄소 농도 변화현황	97
[그림 IV-5] 저장물질별 휘발성유기화합물 농도 변화현황	99
[그림 IV-6] 저장물질별 황화수소 농도 변화현황	100
[그림 IV-7] 저장물질별 폭발하한값 농도 변화현황	102
[그림 IV-8] 백태 저장용기 발생가스 농도	103
[그림 IV-9] 단무지 저장용기 발생가스 농도	104
[그림 IV-10] 오이피클 저장용기 발생가스 농도	105
[그림 IV-11] 양조간장 저장용기 발생가스 농도	106
[그림 IV-12] 양조식초 저장용기 발생가스 농도	107
[그림 IV-13] 식용유 저장용기 발생가스 농도	108
[그림 IV-14] 오수 저장용기 발생가스 농도	109
[그림 IV-15] 목재 저장용기 발생가스 농도	110
[그림 IV-16] 고철 저장용기 발생가스 농도	111

[그림 IV-17] 바나나 저장용기 발생가스 농도	112
[그림 IV-18] 밀폐용기에 담긴 바나나의 FTIR 흡수 스펙트럼	122
[그림 IV-19] 밀폐용기에 담긴 고철의 FTIR 흡수 스펙트럼	123
[그림 IV-20] 밀폐용기 유해가스의 일산화탄소 농도 분포	124
[그림 V-1] A시 맨홀 종류	128
[그림 V-2] 측정기 사진(Sentry Rae, Raesystems, USA)	132
[그림 V-3] 검지기 및 검지관 사진(Sentry Rae, Raesystems, USA)	132
[그림 V-4] 거주지 우수맨홀 가스농도 측정결과	135
[그림 V-5] 공단 우수맨홀 가스농도 측정결과	136
[그림 V-6] 거주지 오수맨홀 가스농도 측정결과	137
[그림 V-7] 업종별 공단 오수맨홀 일산화탄소 농도	143
[그림 V-8] 업종별 공단 오수맨홀 VOC 농도	144
[그림 V-9] 업종별 공단 오수맨홀 황화수소 농도	145
[그림 V-10] 업종별 공단 오수맨홀 가연성가스 LEL 농도	146
[그림 V-11] 업종별 공단 오수맨홀 산소 농도	147
[그림 V-12] 측정지역에 따른 산소 농도(최소값) 비교	148
[그림 V-13] 측정지역에 따른 일산화탄소 농도(최대값) 비교	148
[그림 V-14] 측정지역에 따른 VOC 농도(최대값) 비교	149
[그림 V-15] 측정지역에 따른 황화수소 농도(최대값) 비교	149
[그림 V-16] 측정지역에 따른 LEL 농도(최대값) 비교	150
[그림 V-17] 깊이별 일산화탄소 농도	154
[그림 V-18] 깊이별 VOC 농도	155
[그림 V-19] 깊이별 황화수소 농도	155
[그림 V-20] 깊이별 LEL 농도	156

[그림 V-21] 깊이별 산소 농도	156
[그림 V-22] 수처리 계통도	161
[그림 V-23] 슬러지 처리 계통도	162
[그림 V-24] 최초 침전지	162
[그림 V-25] 농축조	163
[그림 V-26] 처리장 B	164
[그림 V-27] 처리장 B	164
[그림 V-28] 측정장비 및 교정가스	165
[그림 V-29] 처리장 B_하수종말처리장 유해가스 농도 측정결과	167
[그림 V-30] 단무지 제조공정	172
[그림 V-31] 'A' 단무지 제조사업장 측정사진	177
[그림 V-32] 바지선의 종류	184
[그림 V-33] 바지선 A	185
[그림 V-34] 바지선 C	186
[그림 V-35] 바지선 D	187

I. 서 론

1. 연구배경

국가적인 질식재해예방 노력에도 불구하고 매년 20여명의 질식재해 사망자가 지속적으로 발생하고 있다. 1999년~2007년 9년간 질식 재해자는 총 353명이며 이중 사망자 212명, 부상자는 141명으로 사망이 전체 질식재해의 약 60.1 %를 차지하고 있어 치사율이 매우 높은 재해이다. 주로 여름철에 많이 발생하는 질식 재해는 맨홀, 오폐수처리장, 배관, 탱크, 반응기 등과 같이 다양한 밀폐공간에서 발생하는데 여름철 높은 기온과 습도로 인해 미생물 번식이 활발해지고 금속의 산화작용 등으로 황화수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄 등의 유해가스 발생율과 산소결핍율이 높아지면서 작업 중 뜻하지 않게 생명을 잃게 되는 경우가 많다.

밀폐공간이란 환기가 불충분한 상태에서 산소결핍, 유해가스로 인한 건강장애와 인화성물질에 의한 화재, 폭발 등의 위험이 있는 장소로 산업안전보건법 산업보건기준에 관한 규칙에서는 밀폐공간을 산소결핍, 유해가스로 인한 화재·폭발 등의 위험이 있는 장소로 정의하고 있다. 유해가스란 밀폐공간에서 탄산가스, 황화수소 등의 유해물질이 가스상태로 공기 중에 발생하는 것, 적절한 공기란 산소농도의 범위가 18 % 이상 23.5 % 미만, 탄산가스의 농도가 1.5 % 미만, 황화수소 농도가 10 ppm 미만인 수준의 공기를 말한다.

국가별 통계산출방식의 차이로 직접적인 비교는 곤란하지만, 국가별 사망 사고자를 분모로 한 1,000명당 밀폐공간 사망자 비를 살펴보면 일본 5.6명, 미국 6.0명, 영국 4.1명이나 한국은 12.8명으로 밀폐공간 사망자 수가 약 2~3배 높은 것을 알 수 있다.

현행 법령에서는 밀폐공간 내 작업 시 밀폐공간보건작업 프로그램을 작성

하여 작업장소에 대한 사전조사를 실시하고 작업시의 조치사항으로 적절한 공기 상태여부를 확인하기위한 측정·평가를 수행하도록 되어 있으나 질식재해의 발생장소 및 기인물에 따른 유해가스 종류에 대한 자료가 부족한 상태에서는 적절한 측정센서 선정 및 측정방법에 오류를 범할 수 있다.

국내의 밀폐공간 질식위험에 대한 연구사례를 살펴보면, 단무지 공장에서 발생한 질식사고의 원인과 방사선학적 소견 : 증례보고 및 가스분석결과 (박충기 등, 1994), 목재가 선적된 선창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사 (김동훈 등, Korea J.Legal Med, Vol 25, No. 1), 역청탄이 적재된 화물창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사(김동훈 등, 2004), 일산화탄소 중독환자의 임상적 고찰 (안지영 등, 2003) 등과 같이 질식사 환자에 대한 임상적 증례보고가 이루어 졌을 뿐 국내 밀폐공간의 작업별 특성이나 위험성에 대한 연구는 미흡한 실정으로 그 위험성에 대해 추정할 뿐 실측자료 및 실험 자료는 부족한 상황이다.

따라서, 이번 연구에서는 작업종류별 질식재해 발생현황을 통계적으로 분석하고 주요 질식재해 발생 장소 및 기인물질에 대한 실태조사와 실험을 통한 발생 유해가스의 종류와 농도수준을 평가하여 국내 작업특성에 맞는 질식재해 예방 대책의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구목적

본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 중대재해사례를 기초로하여 작성된 기존의 질식재해 통계와 산업재해통계의 발생형태 중 산소결핍 및 유해화학물질중독에 의한 재해를 분석하여 질식 통계를 비교함으로써 정확한 질식재해자수를 파악하고 질식재해통계의 문제점을 분석한다.
- 질식재해와 관련된 산소, 황화수소, 일산화탄소 등 주요 인자에 대한 문헌 조사를 실시하여 인자별 물리화학적 특성 및 인자의 농도별 인체에 미치는 영향을 연구정리한다.
- 다양한 유형의 맨홀과 오폐수처리장, 음식료품제조사업장, 바지선 등 업종 및 작업형태별 밀폐공간을 구분 선정하여 실태조사를 실시한 다음 밀폐공간 형태 또는 작업종류별 위험인자의 종류 및 그 농도를 조사하여 밀폐공간 유형별 질식재해 예방대책을 수립한다.
- 밀폐공간 용기내에 다양한 종류의 물질을 비치하여 주기적으로 발생가스의 농도를 측정함으로써 물질별 발생가스의 종류 및 시간경과별 가스농도를 파악하여 밀폐공간내 저장물질별 질식재해예방대책을 수립한다.
- 현장에서 가스측정용으로 흔히 사용되는 직독식 측정기에 의한 측정값과 분석기기에 의한 측정값을 비교하여 직독식 측정기의 신뢰성을 검증한다.
- 문헌조사 및 실태조사 등의 결과를 종합하여 밀폐공간 질식재해를 예방하기 위한 정책적 및 기술적 대책을 제시한다.

II. 밀폐공간 질식재해 통계 현황

1. 국내 질식재해 발생현황

1) 년도별 발생현황

1999년~2007년 기준 9년간 중대재해 발생에 따른 질식 재해자는 <표 II-1>에 나타난 바와 같이 총 237명이며 이중 사망자 179명, 부상자는 58명으로 사망이 전체 질식재해의 약 75.5 %를 차지하고 있다. 연간 평균 발생건수는 14.4건이며 연간 평균 재해자수 26.3명, 연간 평균 사망자수는 19.8명으로 나타났다.

<표 II-1> 밀폐공간 질식재해 발생현황 중대재해 발생보고 자료(1999년~2007년)

구 분	평균	계	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07
발생건수	14.4	130	10	10	19	11	17	12	16	16	19
재해자수	26.3	237	30	19	32	25	22	20	25	27	37
사망자수	19.8	179	17	16	26	11	21	16	22	20	30
사망률	-	75.5	56.7	84.2	81.3	44.0	95.5	80.0	88.0	74.1	81.1

그러나, 중대재해란 사망자가 발생한 경우이거나 4일 이상의 요양을 요하는 부상자가 4인 이상 발생하였을 경우에 이루어지므로 사망자가 발생하지 않고 부상자가 4명 미만으로 발생한 밀폐공간 질식재해의 경우 통계 자료에 포함되지 않는다.

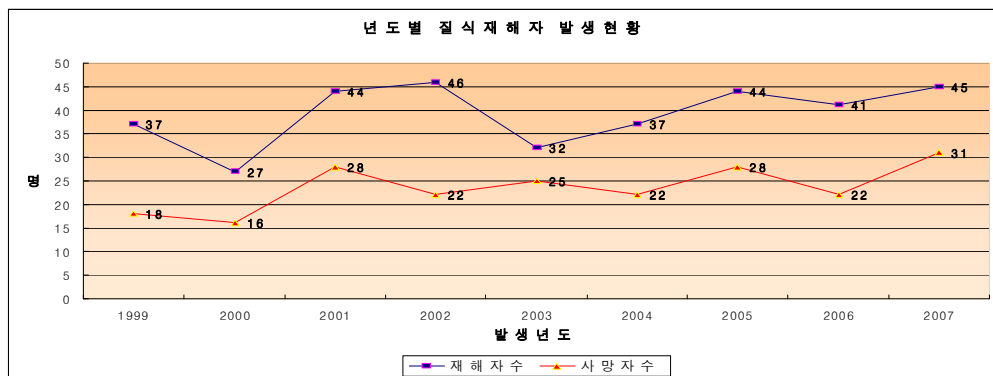
따라서 이번 자료의 경우 1999년부터 2007년까지의 중대재해 사례 보고 자료 뿐 아니라 2000년부터 2007년까지의 산업재해 공식통계의 산소결핍사고와 유해물질 중독사례를 발생건수 별로 재검토 하여 밀폐공간 질식재해 발생현황자료를

재작성하였다. 밀폐공간 질식재해를 분류함에 있어 다양한 형태의 사건 발생으로 분류함에 있어 개인별 오차가 발생할 수 있으나 이번 자료의 경우 밀폐공간 질식재해에 대한 광범위한 자료를 수집하여 분석하였다는 점에서 의미가 깊다고 할 수 있다.

산업재해 공식 통계상에 등록된 밀폐공간 질식재해 사례를 통합하여 분석한 결과 <표II-2>와 같이 1999년~2007년 기준 9년간 질식 재해자는 총 353명이며 이중 사망자 212명, 부상자는 141명으로 사망이 전체 질식재해의 약 60.1 %를 차지하고 있다. 연간 평균 발생건수는 24.4건이며 연간 평균 재해자수 39.2명, 연간 평균 사망자수는 23.6명으로 나타났다.

<표 II-2> 밀폐공간 질식재해 발생현황 산업재해 공식통계 자료(1999년~2007년)

구 분	평균	계	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07
발생건수	24.4	220	12	17	29	30	25	28	28	26	25
재해자수	39.2	353	37	27	44	46	32	37	44	41	45
사망자수	23.6	212	18	16	28	22	25	22	28	22	31
사망률	-	60.1	48.6	59.3	63.6	47.8	78.1	59.5	63.6	53.7	68.9



[그림 II-1] 밀폐공간 질식재해 발생현황 산업재해 공식통계 자료(1999년~2007년)

2) 발생장소별 발생현황

발생장소별 질식재해 현황을 살펴보면, 오페수처리장이 44건으로 전체 재해 발생건수의 20.0 %를 차지하였다(〈표 II-3〉). 다음으로는 맨홀이 40건(18.2 %), 저장용기 40건(18.2 %), 작업장 내부 16건(7.3 %), 지하작업장 16건(7.3 %), 배관내부 15건(6.8 %), 선박 15건(6.8 %) 등의 순으로 나타났다.

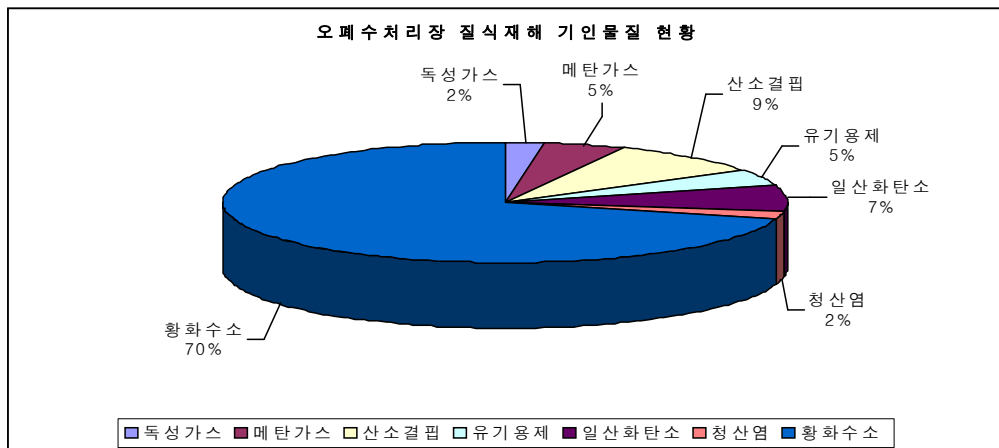
사망자/부상자 비는 평균 1.5였으며 맨홀, 밀폐작업장, 배관내부, 선박에서는 각각 3.2, 3.3, 3.4, 2.4로 높은 사망자 발생율을 나타내었고 저장용기 1.5, 오페수 처리장은 1.0 으로 사망자와 부상자 발생이 유사함을 알 수있었다.

〈표 II-3〉 발생장소별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

발생장소	건수(비율, %)	재해자			
		계	사망자	부상자	사망자/부상자
계	220	353	212	141	1.5
오페수처리장	44 (20.0 %)	87	43	44	1.0
맨홀	40 (18.2 %)	70	53	17	3.1
저장용기	40 (18.2 %)	55	33	22	1.5
밀폐작업장	16(7.3 %)	17	13	4	3.3
지하작업장	16(7.3 %)	19	5	14	0.4
배관내부	15(6.8 %)	22	17	5	3.4
선박	15(6.8 %)	34	24	10	2.4
경비실	9(4.1 %)	9	2	7	0.3
세면장	4(1.8 %)	4	4	0	-
건설현장	3(1.4 %)	3	3	0	-
숙소	3(1.4 %)	4	1	3	0.3
음식물처리장	3(1.4 %)	6	3	3	1.0
공기정화장치 내부	3(1.4 %)	6	2	4	0.5
자동차 내부	2(0.9 %)	2	1	1	1.0
기타	7(3.2 %)	15	8	7	1.1

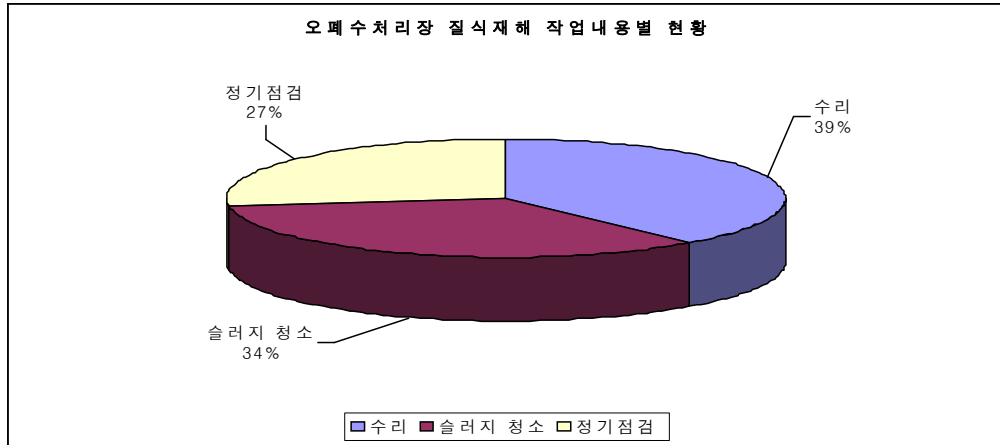
(1) 오폐수처리장

가장 많은 질식재해가 발생한 오폐수처리장의 70.5 %인 31건은 황화수소 중독에 의한 사고였으며 이외 산소결핍 4건, 일산화탄소 중독 3건, 메탄가스 2건이 발생하였고 오폐수처리장의 도색작업 중 유기용제에 의한 중독이 2건, 도금사업장의 폐수처리장에서 시안화수소에 의한 중독사고 1건과 화학제품제조 사업장 폐수처리장에서 원인물질이 밝혀지지않은 독성가스에 의한 중독사고가 1건 발생하였다. 일산화탄소의 경우 청소 및 보수작업을 위한 양수기 가동이 원인이 되었다



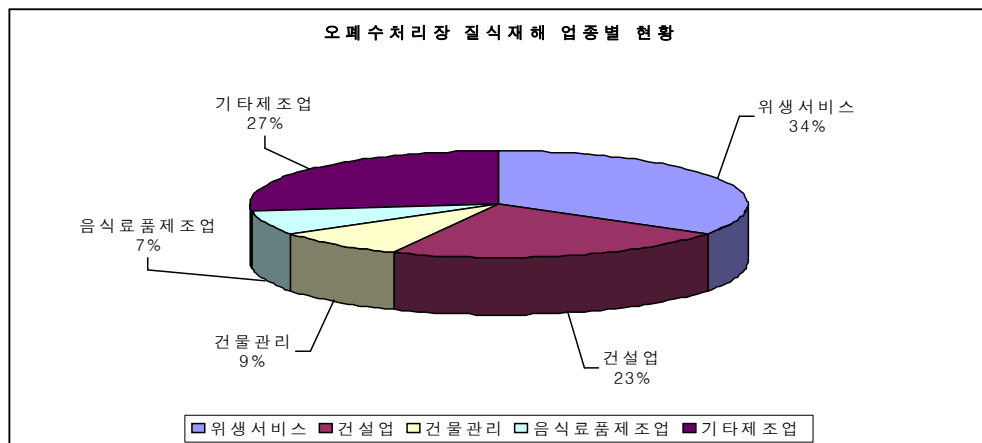
[그림 II-2] 오폐수 처리장 물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

작업내용을 상세히 살펴보면 배수펌프 수리, 벨트 교체, 레벨센서 수리 등 오폐수처리장 내부 작동기계의 고장으로 인한 수리작업으로 발생한 사고가 17건으로 가장 많았고 다음으로는 폐수처리장 바닥의 슬러지 및 모터에 걸린 쓰레기 제거 작업 등의 청소작업이 15건, 정기적인 폐수처리장 점검 및 수질 조사를 위한 폐수 시료채취시 발생한 경우가 12건이었다



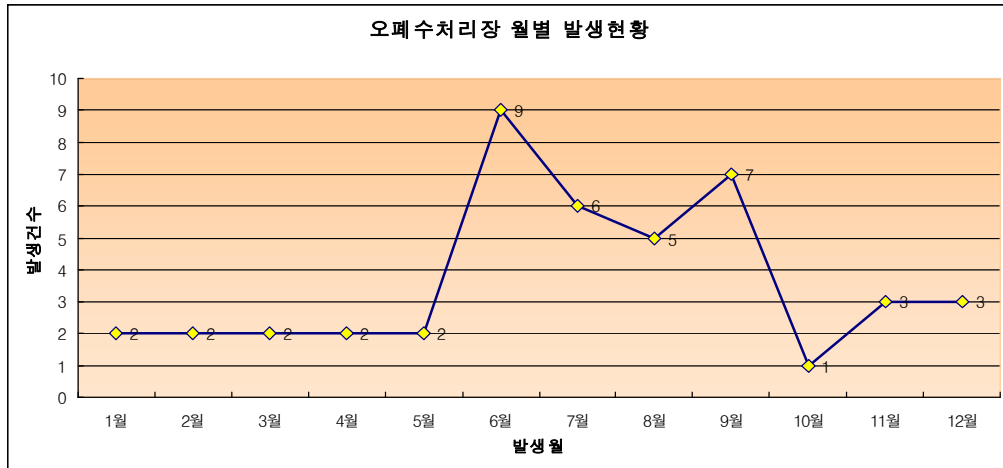
[그림 II-3] 오폐수 처리장 작업내용별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

재해자가 소속된 사업장의 업종을 살펴보면 오폐수처리를 전문으로 하는 위생 및 유사서비스업에서 15건으로 가장 많이 발생하였고, 건설업 10건, 건물관리업 4건, 음식료품 제조업 3건, 기타 기계기구제조업, 목재품가공업, 제지업, 축산업, 화학제품제조업 등 제조사업장 폐수처리장에서 각 1~2건씩 발생하였다.



[그림 II-4] 오폐수 처리장 업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

월별 발생현황을 살펴보면 하절기가 시작되는 6월에 가장 많은 9건이 발생하였다 하절기인 6월에서 9월까지 총 27건이 발생하여 전체 44건의 61.4 %를 차지하였다.

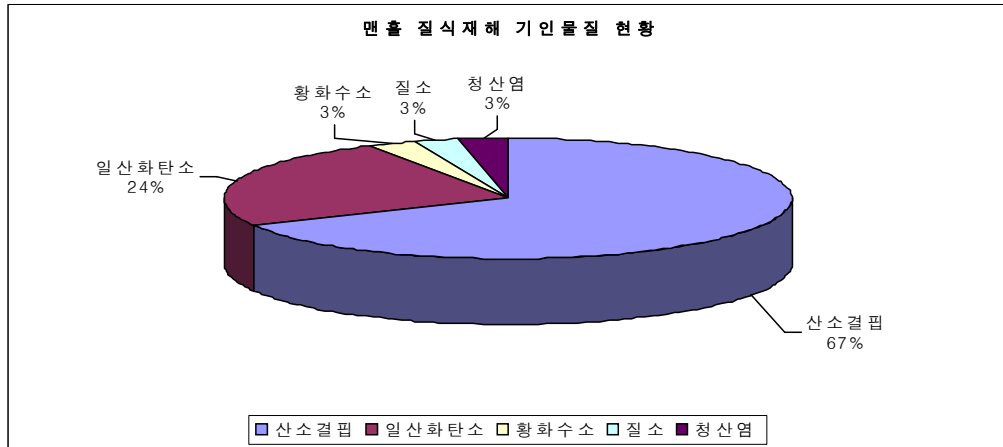


[그림 II-5] 오폐수 처리장 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

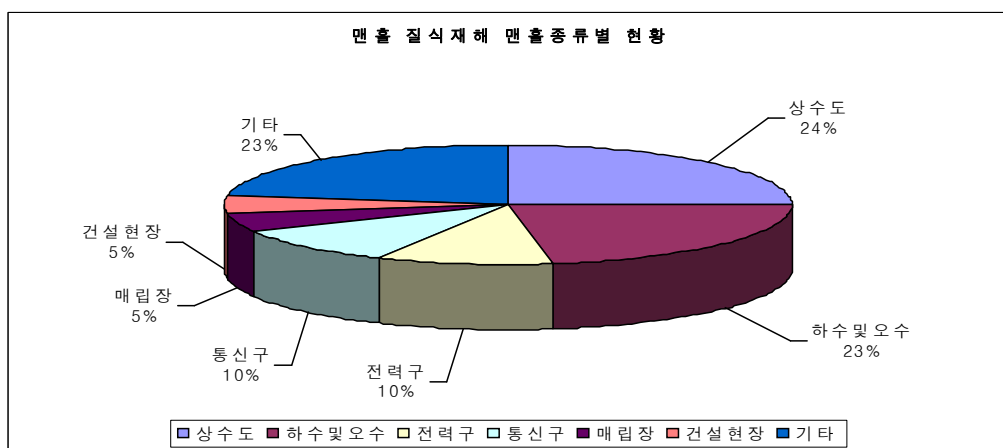
(2) 맨홀

맨홀의 경우 발생건수로 40건(18.2 %), 총 재해자수로도 70명(19.8 %)으로 오폐수 처리장에 이어 두 번째이지만 사망자 발생수는 53명으로 전체 사망자의 25 %로 가장 많은 사망자를 발생한 작업장소이다. 맨홀에서의 기인물질별 현황을 살펴보면 산소결핍이 25건(62.5 %)으로 가장 많았고, 일산화탄소 9건, 황화수소 4건, 질소 및 청산염에 의해 각 2건씩 발생하였다.

맨홀의 종류에 따른 발생현황을 살펴보면 상수도 맨홀에서 10건으로 가장 많았으며 하수 및 오수맨홀에서 9건, 전력구 4건, 통신구 4건, 매립장 침출수 맨홀 2건, 건설현장 맨홀 2건, 도시가스, 우수, 지하 저수조, 해수 집수정 맨홀 등 기타 맨홀에서 각 1건씩 발생하였다

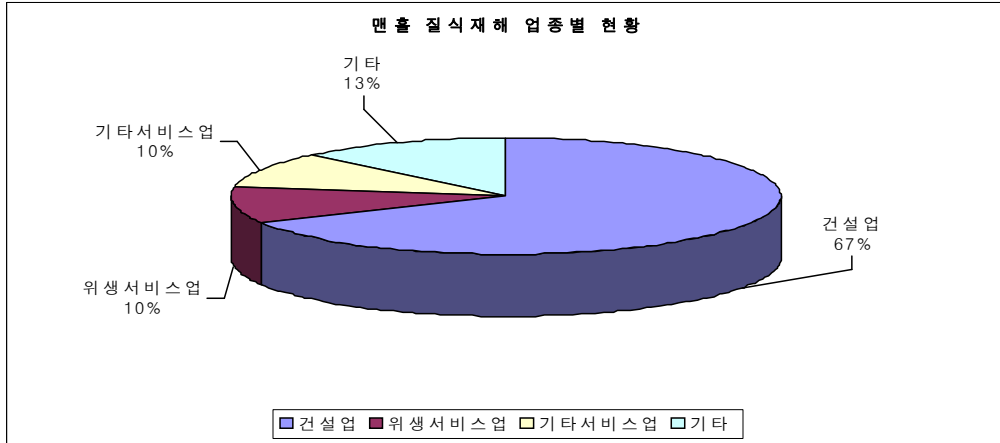


[그림 II-6] 맨홀 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)



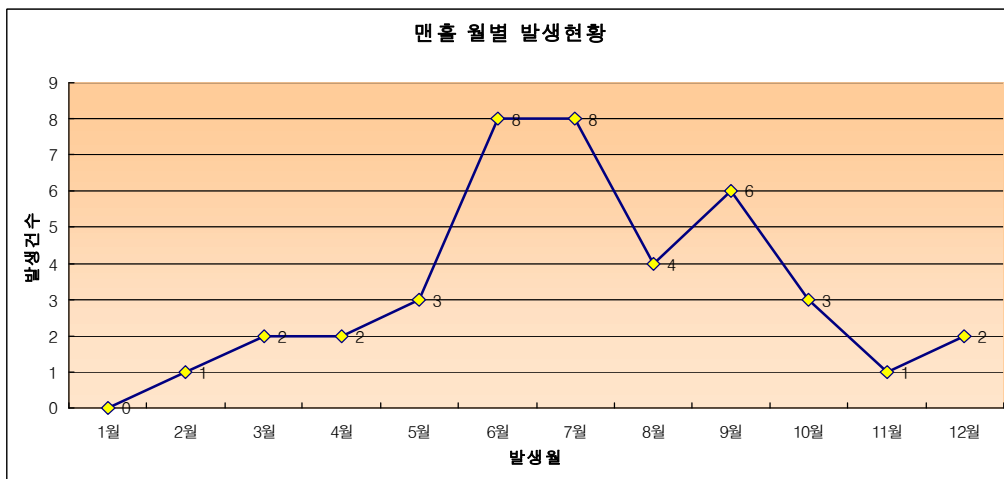
[그림 II-7] 맨홀종류별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

맨홀 내 질식 재해자가 소속된 사업장의 업종은 건설업이 27건(67.5 %)으로 가장 많았고 위생 및 유사서비스업 4건(10 %), 기타 서비스업 4건(10 %) 순으로 조사되었다.



[그림 II-8] 맨홀업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

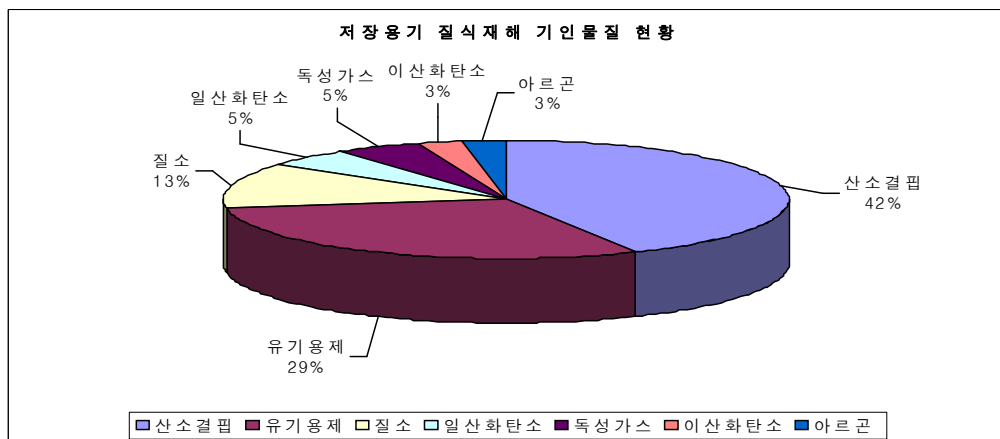
월별 발생현황을 살펴보면 하절기가 시작되는 6월에 가장 많은 8건, 7월에 8건이 발생하였다 하절기인 6월에서 9월까지 총 26건이 발생하여 전체 40건의 65 %를 차지하였다.



[그림 II-9] 맨홀 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

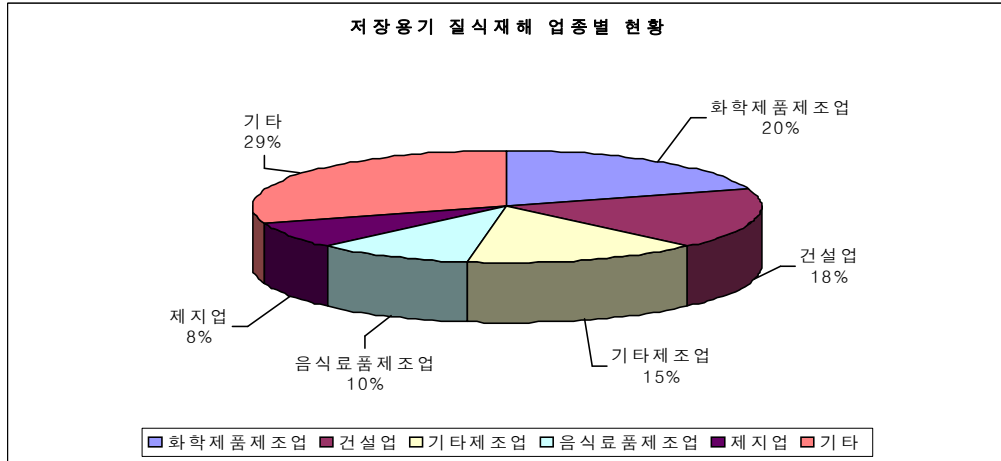
(3) 저장용기

저장용기의 경우 발생건수로 40건(18.2 %), 총 재해자수 55명(15.6 %), 사망자수 33명(15.6 %) 이다. 기인물질별 발생현황을 살펴보면 산소결핍이 17건(42.5 %), 유기용제 중독 12건(30 %), 질소가스 질식 5건(12.5 %), 기타 일산화탄소, 독성가스, 이산화탄소, 아르곤 등이 있다. 산소결핍 사고 중에는 오랜 시간 사용하지 않았던 용기에 들어가거나 산소를 소비하는 물질 (천연펄프, 주모정, 폐유 등)이 담겨져 있는 용기에 들어가서 발생하는 경우, 또는 톱밥, 모래, 골재 등이 담겨 있는 용기에 빠지거나 작업자가 있는 것을 모르고 원료를 쏟아 부어 묻히는 경우가 3건 포함되어 있다. 유기용제 중독 사고의 경우 물탱크 등 저장용기를 도색하는 작업에서 발생하였고 질소가스는 저장용기를 질소 충전하여 퍼징(purging)하는 작업에서 발생하였다.



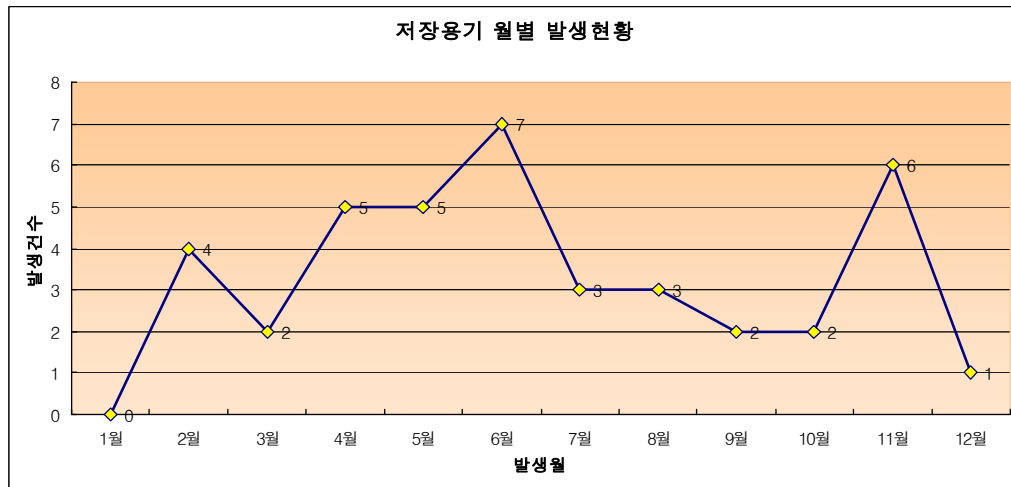
[그림 II-10] 저장용기 기인물질 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

발생업종별 현황을 살펴보면 화학제품제조업이 8건(20 %), 건설업 7건(17.5 %), 기타제조업 6건(15 %), 음식료품 제조업 4건(10 %), 제지업 3건 (7.5 %), 기타 건물관리업, 위생 및 유사서비스업, 강선건조 및 수리업 등이 있었다



[그림 II-11] 저장용기 업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

저장용기에서의 월별 발생현황을 살펴보면 하절기에 사고가 다발하였던 오폐수처리장 및 맨홀과 달리 월별 다양한 분포를 보였다



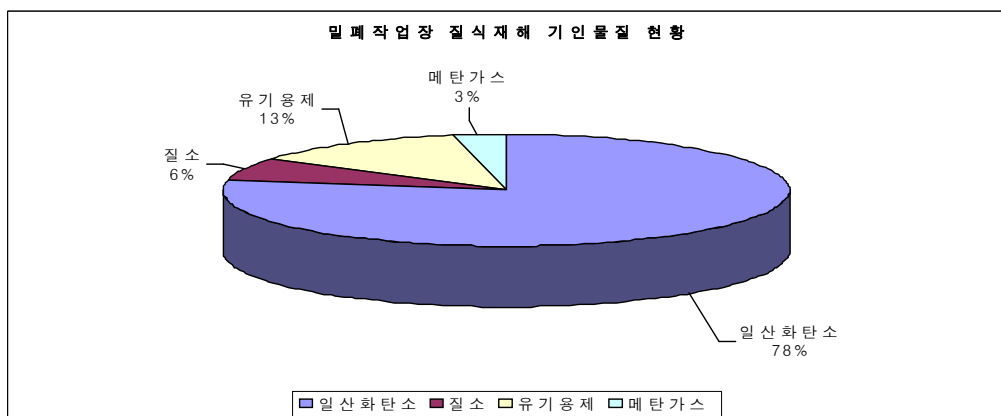
[그림 II-12] 저장용기 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

(4) 밀폐작업장

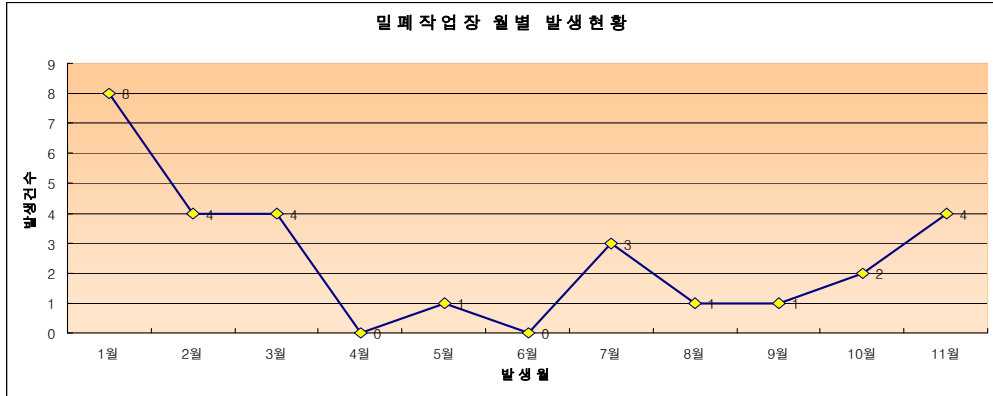
밀폐작업장은 가스분석실, 밸브분석실 등 일반작업장이나 장소가 협소하거나 환기가 적절히 이루어지지 못한 장소(16건)와 유사한 발생장소인 경비실(9건), 세면장(4건), 숙소(3건)를 포함하여 함께 분석하였다

연탄난로, 화로 등 연소기구를 작업장에서 사용하다가 일산화탄소에 중독되는 사례가 25건(78 %)으로 가장 많았고 도장작업 중에 유기용제에 중독된 경우가 4건(12.5 %), 기타 광산에서 무연탄 운반 중 발생한 사건과 등이 있었다.

밀폐작업장의 경우 대부분 난방용 연소기구에 의한 일산화탄소 중독 사고가 대부분으로 발생월 또한 동절기인 11월~2월에 약 60 %가 발생하였다.



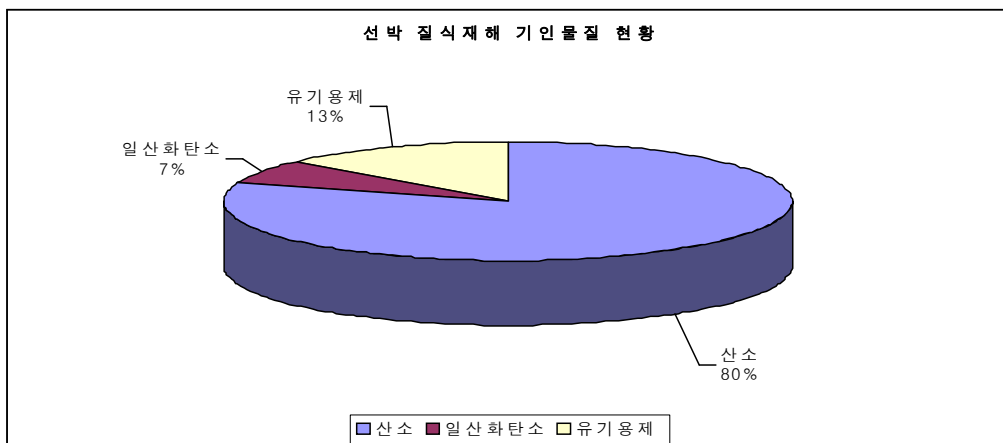
[그림 II-13] 밀폐작업장 별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)



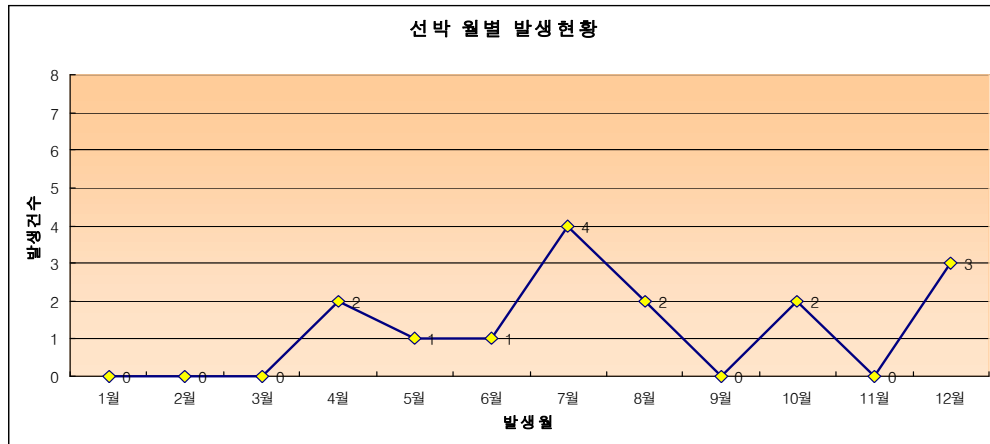
[그림 II-14] 밀폐작업장 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

(5) 선박

선박의 경우 대부분 바지선 또는 예인선의 부력탱크 내 내부수리 및 청소 작업이 10건(66.7 %)으로 가장 많았고 원목 또는 유연탄을 운송하는 선박에서 시료를 채취하기 위하여 저장실에 들어가는 경우 등이 있었으며 약 80 %인 12건이 산소결핍에 의해 발생하였다.



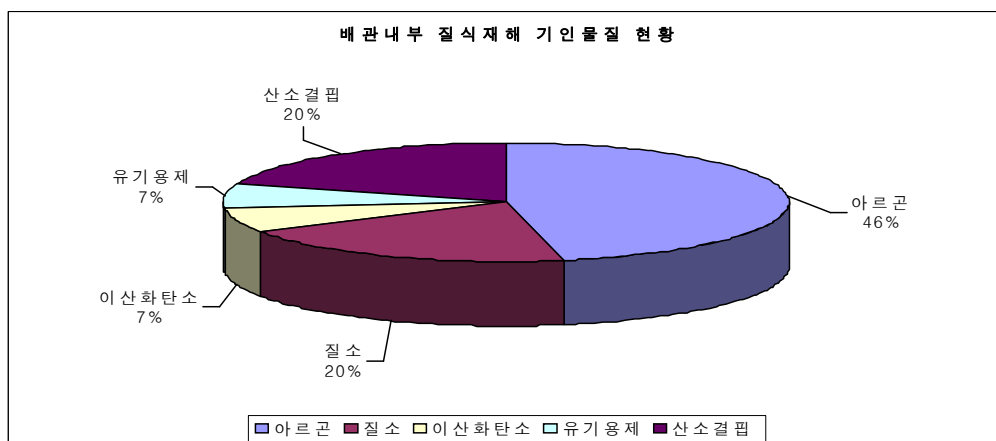
[그림 II-15] 선박 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)



[그림 II-16] 선박 월별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

(6) 배관내부

배관내부에서의 질식재해인 경우 용접작업 중 아르곤 가스에 의해 질식하는 경우가 7건(46 %)로 가장 많았고 강선건조 및 수리업, 기계기구제조업 등에서 발생하였다



[그림 II-17] 배관내부 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

3) 기인물질별 발생현황

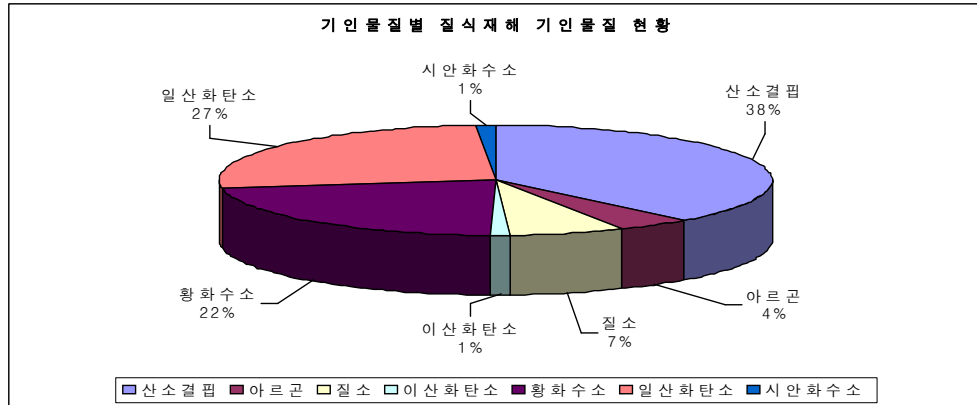
기인물질별 질식재해 발생건수 현황을 살펴보면, 산소결핍이 69건으로 전체 재해발생건수의 31.4 %를 차지하였다. 다음으로는 일산화탄소가 48건(21.8 %), 황화수소 40건(18.2 %), 유기용제 32건(14.5 %) 순으로 발생하였다. 재해자 수 현황은 산소결핍이 116명으로 32.9 %, 일산화탄소와 황화수소가 각 73명(20.7 %)으로 같았다

사망자/부상자 비를 살펴보면 산소결핍, 질소, 시안화수소의 경우 사망자가 부상자보다 3배 더 발생하고 있었으며 아르곤에 의한 질식재해의 경우 10배 더 높게 발생하고 있음을 알 수 있다. 상대적으로 유기용제 및 일산화탄소의 경우 각 0.6, 0.8로 사망자보다 부상자의 발생비율이 더 높음을 알 수 있다.

〈표 II-4〉 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

(단위 : 재해자수)

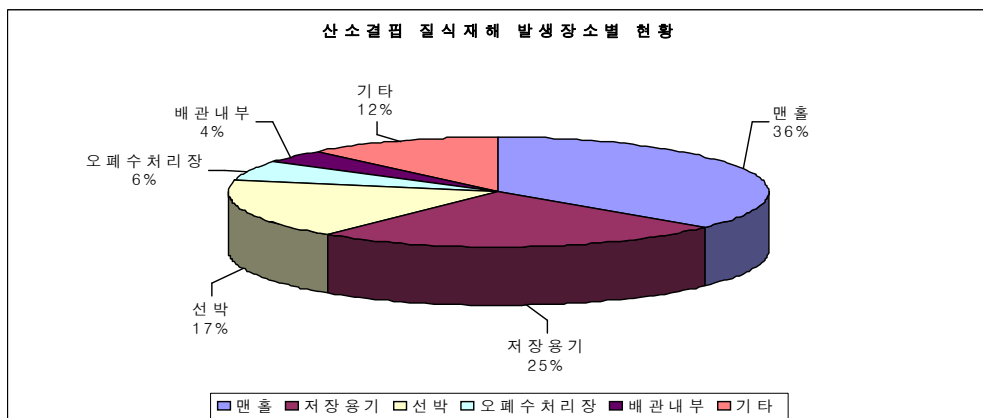
기인물	발생건수	재해자				
		계	사망자	부상자	사망자/부상자	
계	220	353	212	141	1.5	
산소결핍	69(31.4 %)	116	87	29	3.0	
단순질식	아르곤	8(3.6 %)	11	10	1	10.0
	질소	12(5.5 %)	16	12	4	3.0
	이산화탄소	2(0.9 %)	2	1	1	1.0
화학적 질식	황화수소	40(18.2 %)	73	43	30	1.4
	일산화탄소	48(21.8 %)	73	33	40	0.8
독성가스	시안화수소	2(0.9 %)	4	3	1	3.0
	유기용제	32(14.5 %)	46	17	29	0.6
기타	7(3.2 %)	12	6	6	1.0	



[그림 II-18] 기인물질별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

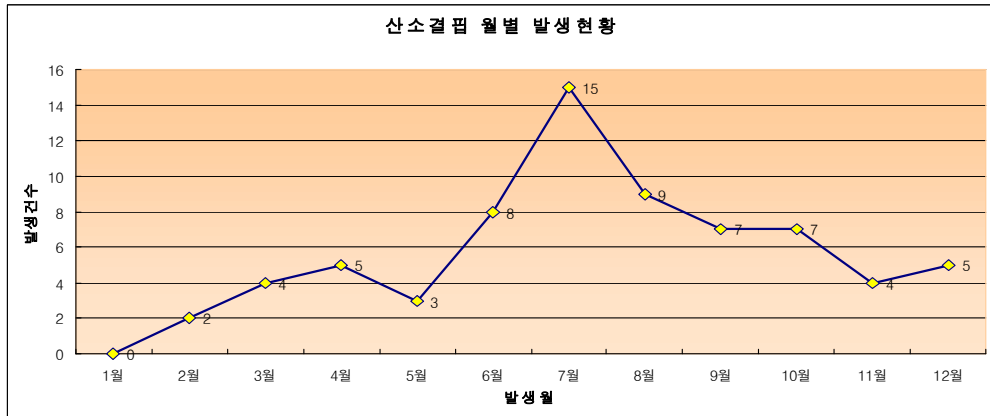
(1) 산소결핍

산소결핍재해의 경우 발생장소별 현황을 살펴보면 맨홀이 25건(36.2 %), 저장용기 17건(24.7 %), 선박 12건(17.4 %) 순으로 발생하였으며 업종별로는 건설업에서 22건(31.9 %), 운수업 9건(13.0 %), 위생 및 유사서비스업 9건 (13.0 %)순으로 발생하였다.



[그림 II-19] 산소결핍 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)

산소결핍 재해의 월별 발생현황을 살펴보면 7월에 15건(21.8 %), 8월 9건(13.0 %), 6월 8건(11.6 %)순으로 나타났다.

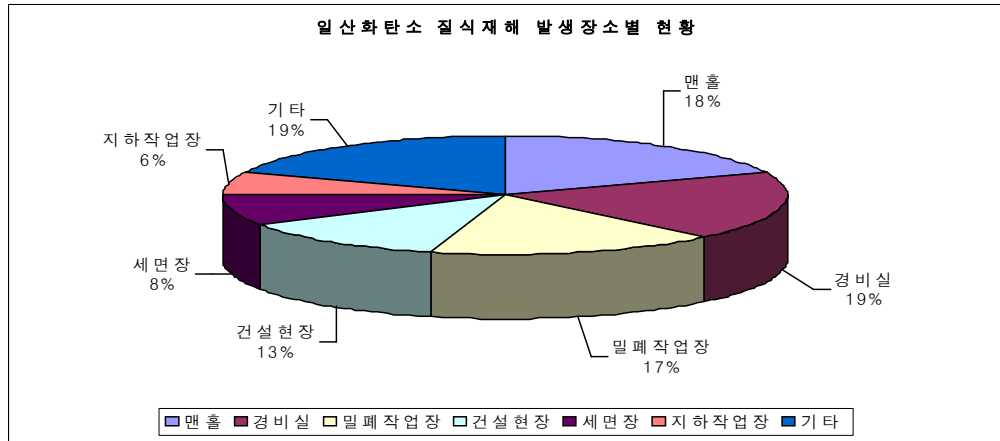


[그림 II-20] 산소결핍 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)

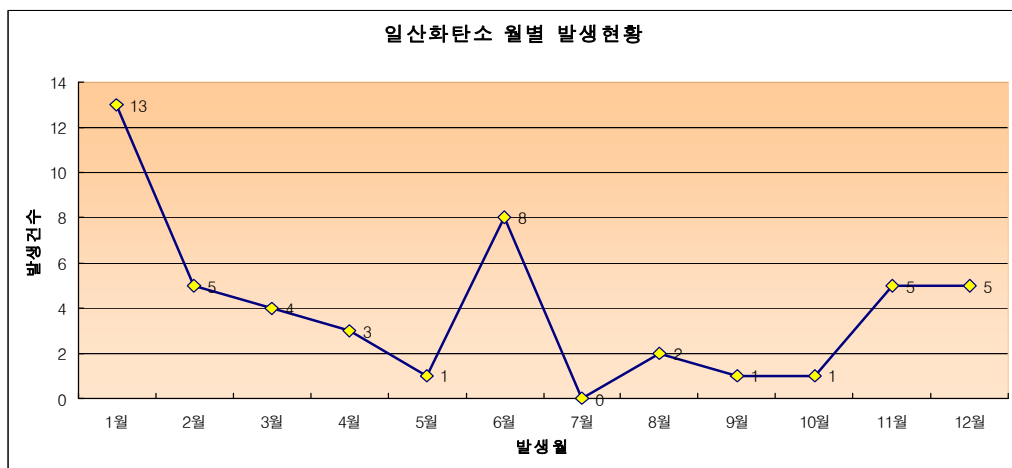
(2) 일산화탄소

일산화탄소 중독의 경우 발생장소별 현황을 살펴보면 맨홀이 9건(18.8 %), 경비실 9건(18.8 %), 밀폐작업장 8건(16.7 %), 건설현장 6건(12.5 %)순으로 발생하였으며 업종별로는 건설업에서 21건(43.8 %), 건물관리업 5건(10.4 %), 이외 기타 서비스업과 기타제조업에서 각 7건, 8건으로 발생하였다. 맨홀작업의 경우 양수기 사용, 경비실 및 밀폐작업장 등은 난방용 연탄난로, 숯 등의 연소기구 사용, 건설현장은 콘크리트 양생을 위한 갈탄난로 사용 등이 발생원인이었다.

월별 발생현황을 살펴보면 일반적으로 하절기에 발생율이 높은 타 기인물질과 달리 일산화탄소의 경우 1월에 13건(27.0 %)로 가장 높았다. 동절기인 11월에서 2월 사이에 총 28건으로 전체 재해의 58.3 %를 차지하였다.



[그림 II-21] 일산화탄소 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)

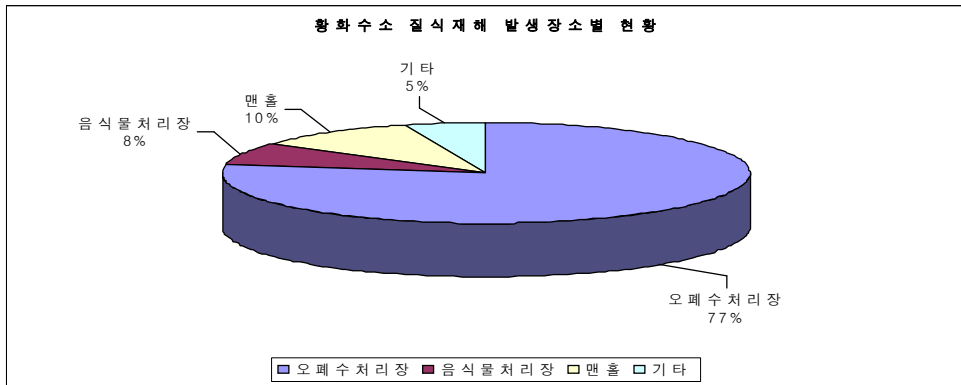


[그림 II-22] 일산화탄소 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)

(3) 황화수소

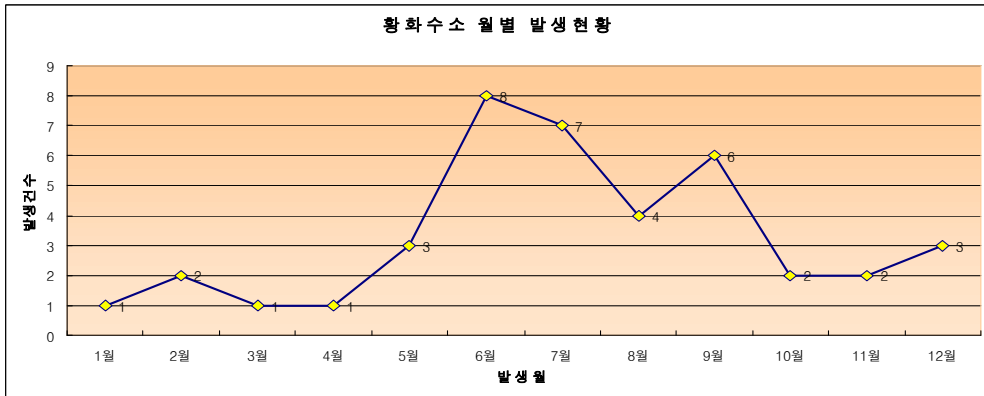
황화수소 중독의 발생장소별 현황을 살펴보면 오폐수처리장이 31건으로 전체의 77.5 %를 차지하고 음식물처리장 및 맨홀에서 각 4건, 3건이 발생하였다. 업종

별로는 위생 및 유사서비스업에서 15건(37.5 %), 건물관리업 및 건설업에서 각 5건으로 12.5 %씩 발생하였다.



[그림 II-23] 황화수소 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)

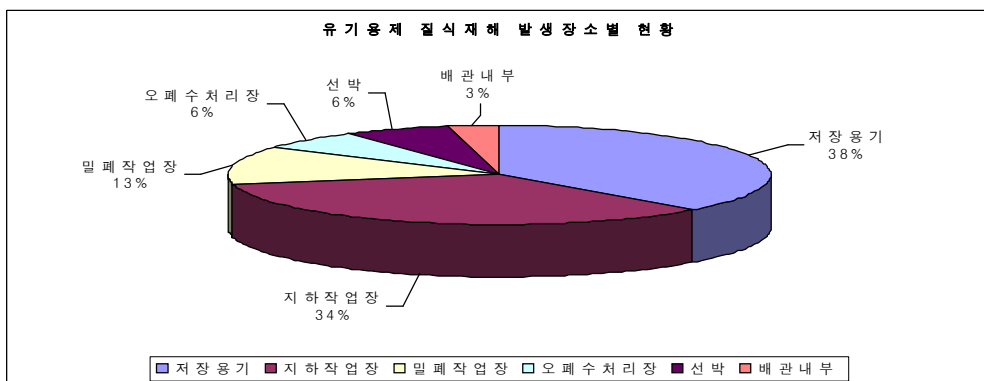
월별 발생현황을 살펴보면 하절기인 6월~9월 사이 총 25건으로 62.5 %를 차지 하였다.



[그림 II-24] 황화수소 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)

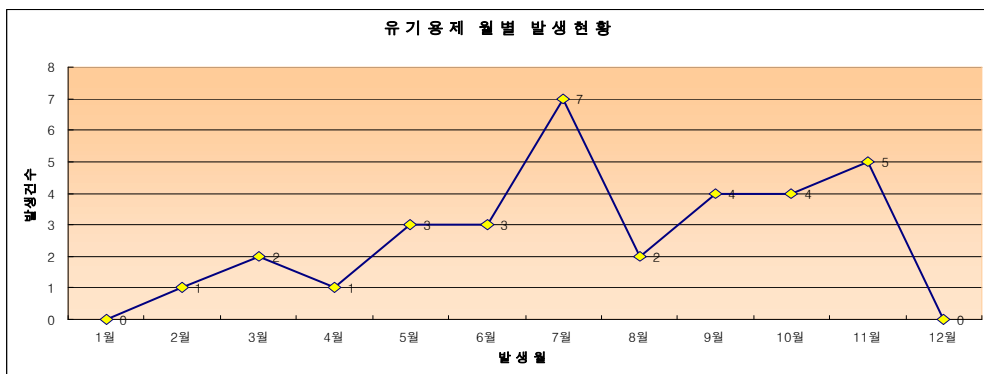
(4) 유기용제

유기용제 중독의 발생장소별 현황을 살펴보면 저장용기에서 12건(38 %), 지하작업장 11건(34 %), 밀폐작업장 4건(13 %), 오폐수처리장 2건(6 %), 선박 2건(6 %), 배관내부 1건(3 %) 발생하였다. 업종별로는 건설업이 13건(40.6 %), 화학제품제조업이 4건(13 %) 순으로 발생하였다



[그림 II-25] 유기용제 질식재해 발생장소별 현황(1999년~2007년)

월별 발생현황을 살펴보면 7월에 7건 (21.9 %)이며 월별 다양하게 발생하였음을 알 수 있다



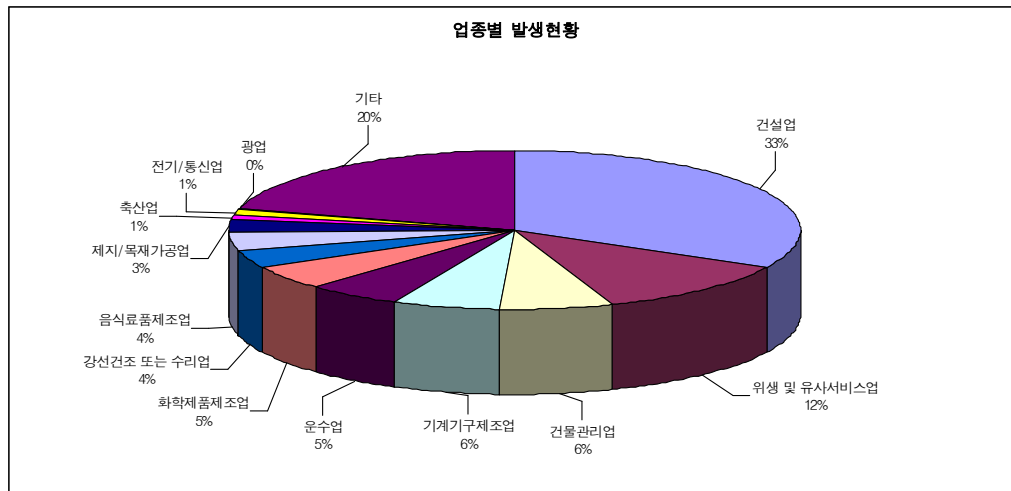
[그림 II-26] 유기용제 질식재해 월별 현황(1999년~2007년)

4) 업종별 발생현황

업종별 질식재해 발생건수 현황을 살펴보면, 건설업이 72건(32.7 %)으로 가장 많이 발생하였고 위생 및 유사서비스업이 26건(11.8 %), 건물관리업 14건(6.4 %) 순으로 발생하였다. 사망자/부상자 비를 살펴보면 강선건조 또는 수리업에서 4.0으로 가장 높았고 화학제품제조업 2.3, 제지/목제품제조업 2.0으로 발생하였다.

〈표 II-5〉 업종별 질식재해 발생현황(1999년~2007년)

업 종	발생건수	재해자수			
		계	사망자	부상자	사망자/부상자
계	220	353	212	141	1.5
건설업	72(32.7 %)	123	72	51	1.4
위생 및 유사서비스업	26(11.8 %)	58	33	25	1.3
건물관리업	14(6.4 %)	27	17	10	1.7
기계기구제조업	13(5.9 %)	22	10	12	0.8
운수업	12(5.5 %)	17	10	7	1.4
화학제품제조업	11(5.0 %)	13	9	4	2.3
강선건조 또는 수리업	8(3.6 %)	10	8	2	4.0
음식료품제조업	8(3.6 %)	14	6	8	0.8
제지업/목제품제조업	6(2.7 %)	9	6	3	2.0
축산업/	2(0.9 %)	3	3	0	-
전기/통신업	2(0.9 %)	2	2	0	-
광업	1(0.5 %)	1	1	0	-
기타제조업	18(8.2 %)	23	16	7	2.3
기타서비스업	17(7.7 %)	22	14	8	1.8
기타산업	10(4.5 %)	9	5	4	1.3



[그림 II-27] 업종별 질식재해 발생 현황(1999년~2007년)

2. 국외 질식재해 발생현황

1) 미국

우리나라나 일본과 달리 통계자료나 보고서 등에서 밀폐공간이나 산소결핍증 등에 대해 종합적으로 발표된 자료를 찾을 수 없다. 따라서, 미국 노동통계국 (Bureau of Labour Statistics : BLS)에서 발행한 년도별 산업재해사망통계 자료의 “재해자 특성과 사고유형 또는 노출 (Fatal occupational injuries by worker characteristics and event or exposure)”자료를 분석하고 한국의 밀폐공간 재해 및 일본의 산소결핍증등 재해 원인과 연계시켜 해석한 결과 밀폐공간 재해 사망자와 유사한 분류를 확인할 수 있다(<표 II-6> 참조).

<표 II-6>의 자료는 사고유형과 노출현황을 근거로 하는 경우 한국의 밀폐공간 재해와 유사하고 일본의 산소결핍 등 재해발생 장소 보다는 광범위한 것으로 추정된다. (<표 II-7>에 대한 설명자료 참조)

※ 나라별로 산업재해의 범위, 작성방법 및 자료원의 신뢰도가 각각 다르고 특히 산업재해의 보고/획득 자료원의 신뢰성을 고려하는 경우 전체 재해자에 대한 자료보다 사망재해자에 대한 통계가 국가별 상호 비교 시 비교적 신뢰성이 높은 근거가 될 수 있으므로 이 보고서에서는 국가별 비교에 사망 자료를 활용.

‘92~‘06, 15년간의 추정 밀폐공간 재해 사망자 수는 총 545명으로 평균 36.3명/년이고, 각 년도별 재해건수와 재해자수는 파악되지 못하였다. 미국의 밀폐공간 재해 전문가인 Neil McManus가 OSHA와 NIOSH에서 발간한 보고서를 근거로 산출한 재해 당 사망자수는 1.21명/건이다.

<표 II-6> 미국 노동통계국(BLS) 자료의 밀폐공간 유사재해 현황

구 분	평균	계	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
계	36.3	545	64	46	44	45	68	30	34	23	27	38	30	34	22	21	19
Inhalation of substance in enclosed, restricted, or confined space	29.8	447	51	43	44	35	56	25	27	23	22	25	20	27	13	21	15
Depletion of oxygen in other enclosed, restricted, or confined spaces	6.5	98	13	3	0	10	12	5	7	0	5	13	10	7	9	0	4

<표 II-7> 미국 노동통계국(BLS) 자료의 기타화학물질 재해 기인물 현황

구 분	평균	계	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
계	43.7	655	57	57	62	41	53	38	33	40	23	33	33	42	29	55	59
Carbon monoxide	33.0	495	45	41	44	35	38	38	21	26	18	21	21	32	26	40	49
Sewer gas, mine gas, methane	4.6	69	12	7	11	0	0	0	0	4	0	8	5	6	3	10	3
Sulfur and sulfur compounds	6.1	91	0	9	7	6	15	0	12	10	5	4	7	4	0	5	7

미국 노동통계국(BLS)의 산업재해사망통계 자료의 “1차 및 2차 기인물 (Fatal occupational injuries by primary and secondary source of injury)”을 분석하여 기인물별 통계 중 밀폐공간 재해의 원인과 관련이 있을 것으로 보이는 기타화학물질에 의한 재해의 일부를 <표 II-7>에 정리하였다. <표 II-7>의 자료를 기초로 하는 경우 <표 II-6> 미국의 기타화학물질 재해의 많은 부분이 일산화탄소와 하수도 가스 및 황화수소 등에 기인하므로 우리나라 밀폐공간 재해기준과 유사하고 일본의 산소결핍증 등의 재해기준 보다는 광범위하다는 위의 추정이 어느 정도 설득력이 있다고 판단됨.

※ 다만, 미국에서의 일산화탄소 중독은 사업장내에서 널리 사용되는 지게차 등 내연기관의 연소에 기인하므로 우리나라의 경우와는 다소 다름

2) 일본

‘87~‘06, 20년간의 산소결핍 등 재해는 총 342건으로 평균 17.1건/년이고, 같은 기간 동안의 재해자 수를 기준으로 한 경우 총 526명, 평균치로는 26.3명/년이며 각 재해 당 평균 재해자수는 1.53명이다. 사망자 수를 기준으로 한 경우 20년간 총 228명(평균 11.4명/년)이며 사망률은 43.3 %로 절반 이하의 재해자만이 사망하였다. 산소결핍 등 재해를 산소결핍재해와 황화수소 중독으로 구분하여 자료가 발표되었으며 황화수소 중독이 전체 재해의 1/4(25.1 %)을 점하고 있다.

※ 일본 후생노동성의 ‘산소결핍증등 장해 예방규칙’ 제2조 정의에서는 ‘산소결핍증등’을 산소결핍과 황화수소 중독만으로 명확히 정하고 있음. 또한 산소결핍증 발생가능 장소 11곳과 황화수소 중독 발생가능 장소 2곳 등 13개 장소를 노동안전위생법 시행령 <별표 6>에서 구체적으로 지정하고 있음.

※ 일본의 산소결핍증등 재해 자료는 일산화탄소 중독 등 황화수소 이외 가스

중독을 포함하고 있지 않으므로 우리와 직접 비교는 어려우며, 우리나라 기준을 따르는 경우 <표 II-8> 보다는 다소 높아질 것으로 판단됨.

※ 일본의 후생노동성이 발표한 일산화탄소 중독 사망자는 2005년 2명, 2006년 5명으로 비교적 적은 숫자임.

황화수소 중독의 경우 사망률이 37.7 %로 산소결핍에 의한 사망률 보다 45.8 % 보다 약간 낮다.

<표 II-8> 일본에서의 산소결핍증등 재해발생 현황

년 도		평균	계	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
산소결핍	발생건	12.8	256	14	14	14	16	20	13	13	16	14	13	15	17	7	17	12	7	5	10	8	11
	피해자	18.4	367	17	22	26	23	30	20	17	22	23	22	25	28	9	21	15	10	5	11	9	12
	사망자	8.4	168	10	9	9	10	16	12	8	8	14	10	8	9	3	10	7	7	3	2	4	9
	사망률(%)	45.8		58.8	40.9	34.6	43.5	53.3	60.0	47.1	36.4	60.9	45.5	32.0	32.1	33.3	47.6	46.7	70.0	60.0	18.2	44.4	75.0
황화수소 중독	발생건	4.3	86	7	3	4	5	2	6	3	6	4	8	3	5	6	3	5	7	2	2	2	3
	피해자	8.0	159	13	7	6	10	2	11	8	12	8	13	5	7	13	7	7	18	2	4	3	3
	사망자	3.0	60	2	3	2	1	1	2	7	2	1	4	0	2	6	6	1	15	0	3	0	2
	사망률(%)	37.7		15.4	42.9	33.3	10.0	50.0	18.2	87.5	16.7	12.5	30.8	0.0	28.6	46.2	85.7	14.3	83.3	0.0	75.0	0.0	66.7
합계	발생건	17.1	342	21	17	18	21	22	19	16	22	18	21	18	22	13	20	17	14	7	12	10	14
	피해자	26.3	526	30	29	32	33	32	31	25	34	31	35	30	35	22	28	22	28	7	15	12	15
	사망자	11.4	228	12	12	11	11	17	14	15	10	15	14	8	11	9	16	8	22	3	5	4	11
	사망률(%)	43.3		40.0	41.4	34.4	33.3	53.1	45.2	60.0	29.4	48.4	40.0	26.7	31.4	40.9	57.1	36.4	78.6	42.9	33.3	33.3	73.3

주1) 피해자수는 사망자와 부상자를 합한 수치임.

주2) 사망률(%) = (사망자/피해자) × 100

3) 영국

미국과 같이 통계자료나 보고서 등에서 밀폐공간이나 산소결핍증 등에 대해 발표한 자료를 확인할 수 없다. 영국 보건안전청(UK-HSE)에서 발표한 "Statistics of Fatal Injuries 2006/07"에서 '익사 또는 질식 (drowning or asphyxiation)'과 '유해 물질접촉 (contact with harmful substance)'에 의한 사망자수를 인용하고 미국 BLS의 통계를 활용하여 <표 II-9>와 같이 밀폐공간 재해 사망자를 역으로 추정하였다.

※ 미국자료의 <표 II-6>에서 중/소분류인 'Inhalation of substance in enclosed, restricted, or confined space'에 의한 재해사망자와 'Depletion of oxygen in other enclosed, restricted, or confined spaces'에 의한 재해사망자는 해당 대분류인 'Exposure to harmful substances or environments'에 의한 재해사망자의 6.91%에 해당하므로 <표 II-9> 영국 HSE 통계의 익사/질식과 유해물질접촉 사망자에 0.0691을 곱하여 추정 밀폐공간 재해 사망자수를 개략적으로 산출하였다.

각 재해 당 평균 재해자수와 사망자수는 파악되지 못하였다.

<표 II-9> 영국 HSE 자료에 의한 추정 밀폐공간 재해 현황

구 분	계	평균	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
익사/ 질식 사망자	108	9.8	-	-	-		9	7	9	7	6	11	8	22	10	3	16
유해물질접촉 사망자	52	4.7	-	-	-		7	4	2	5	3	3	8	6	3	7	4
추정 밀폐공간 재해 사망자	11	1.0	-	-	-	-	1.1	0.8	0.8	0.8	0.6	1.0	1.1	1.9	0.9	0.7	1.4

주) 추정 밀폐공간 재해 사망자 = $0.0691 \times (\text{익사/질식 사망자} + \text{유해물질 접촉 사망자})$

3. 밀폐공간 관련 재해의 국가별 비교

1) 국가별 밀폐공간 질식재해 통계의 비교

국가별 통계산출방식의 차이로 직접적인 비교는 곤란하지만, 한국·일본·미국·영국의 총 재해사망자와 밀폐공간 관련 재해사망자를 종합하여 비교한 결과 한국의 밀폐공간 관련 재해사망자는 총 산업재해사망자 1,000인 당 7.2명으로 선진국의 약 1.2~1.8배에 해당하고 있는 것으로 추정된다(<표 II-10> 참조).

질병사망자를 제외한 사고사망자만을 기준으로 하는 경우 한국은 8년 평균 12.8명/년으로 선진국의 2.1~3.1배에 달하고 있는 것으로 추정된다. 밀폐공간 재해 당 사망자수는 한국이 1.34명/건으로 일본의 0.67명/건에 비해 2배정도 높으나 미국의 1.21명에 비해서는 약간 높은 수치이다. 전체 재해자에 대한 사망률은 한국이 74.5%로 일본의 43.3%에 비해 약 1.7배 높은 수치를 나타내어 상대적으로 높은 치사율을 보인다.

우리나라 밀폐공간 재해사망자수는 연간 변동이 심하고 감소하고 있지 않으나 미국의 경우 일산화탄소 중독을 제외하고는 관련재해 사망자수가 전반적으로 줄어드는 경향을 보이고 있으며 일본도 2006년도의 급속한 증가를 제외하면 감소하는 추세이다. 영국의 경우는 낮은 수치 때문에 기복이 심한 편이고 2006년에 관련 재해가 2배정도 증가하였다.

<표 II-10> 각국의 산재사망자와 밀폐공간 관련 사망자의 비교 ('92~'06)

구 분		평균	년														
			92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
한국	총 산재 사망자	2,744	2429	2210	2678	2662	2670	2742	2212	2291	2228	2748	2605	2923	2825	2493	2543
	사고재해 사망자	1,814	2,227	2,010	2,480	2,431	2,272	2,047	1,662	1,456	1,414	1,551	1,378	1,533	1,537	1,398	1,332
	밀폐공간 사망자	18.6	-	-	-	-	-	-	-	17	16	26	11	21	16	22	20
	1,000인율 ^A	7.3	-	-	-	-	-	-	-	7.42	6.33	9.46	4.22	7.18	5.66	8.82	8.15
	1,000인율 ^B	12.8	-	-	-	-	-	-	-	11.68	11.32	16.76	7.98	13.70	10.41	15.74	15.02
미국	총 산재 사망자	6,010	6,217	6,331	6,632	6,275	6,202	6,238	6,055	6,054	5,920	5,915	5,534	5,575	5,764	5,734	5,703
	밀폐공간 추정사망자	36.3	64	46	44	45	68	30	34	23	27	38	30	34	22	21	19
	1,000인율	6.0	10.29	7.27	6.63	7.17	10.96	4.81	5.62	3.80	4.56	6.42	5.42	6.10	3.82	3.66	3.33
일본	총 산재 사망자	1,944	2,354	2,245	2,301	2,414	2,363	2,078	1,844	1,992	1,889	1,790	1,658	1,628	1,620	1,514	1,472
	산소결핍 등 사망자	11.0	14	15	10	15	14	8	11	9	16	8	22	3	5	4	11
	1,000인율	5.6	5.95	6.68	4.35	6.21	5.92	3.85	5.97	4.52	8.47	4.47	13.27	1.84	3.09	2.64	7.47

구 분		평균	년 도														
			92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
영국	총 산재 사망자	259	339	296	272	258	287	274	253	220	292	251	227	236	223	217	242
	익사/ 질식 사망자	9.8	-	-	-	-	9	7	9	7	6	11	8	22	10	3	16
	유해물질접촉 사망자	4.7	-	-	-	-	7	4	2	5	3	3	8	6	3	7	4
	밀폐공간 추정사망자	1.0	-	-	-	-	1.1	0.8	0.8	0.8	0.6	1.0	1.1	1.9	0.9	0.7	1.4
	1,000인율(질식 등)	4.1	-	-	-	-	3.85	2.77	3.00	3.77	2.13	3.85	4.87	8.20	4.03	3.18	5.71

주) 미국과 영국의 경우 업무상질병 사망자가 산재사망자 통계에 거의 포함되지 않으며 일본의 경우 그 수가 전체의 1/5정도에 지나지 않음. 이러한 국가별 사망재해 산출특성을 고려한 비교를 위해 한국의 산업재해사망자에서는 진폐, 뇌심 등의 질병 사망자와 사고사망자를 포함한 총 산재사망자와 순수 사고사망자(질병사망자 제외)를 구분하여 자료를 작성함.

A : 사고사망자와 질병사망자를 합한 총 산재사망자를 분모로 한 1,000명당 밀폐공간 사망자비

B : 사고재해사망자만을 분모로 한 1,000명당 밀폐공간 사망자비

2) 국가별 밀폐공간 관련 기준의 비교

가) 한국, 일본, 미국, 영국의 밀폐공간 관련 법규

- 한국 : 노동부, 산업보건기준에 관한 규칙 "밀폐공간작업으로 인한 건강 장애의 예방"
- 일본 : 후생노동성, "酸素欠乏症等 防止規則"
- 미국 : OSHA, "29 CFR §1910.146 Permit-Required Confined Space"
- 영국 : HSE, "The Confined Spaces Regulations 1997"

나) 국가별 밀폐공간 기준의 주요 내용

□ 한국

밀폐공간에 대한 정의는 산소결핍, 유해가스 존재 및 화재폭발 위험이 있는 장소로서 보건규칙 [별표 3]에서 17개 장소를 지정하고 있다. 17개 이외의 장소는 밀폐공간 관련 법적 기준 적용이 곤란하다.

- 해당 17개 장소는 일본 안위법시행령에서 정한 산소결핍 11개 장소와 황화수소발생 2개 장소에 그 동안 국내에서 관련 재해가 다발한 4개소를 추가한 것이다.

※ 추가된 4개 장소

- ① 산소농도가 18 % 미만 23.5 % 이상, 탄산가스농도가 1.5 % 이상, 황화수소농도가 10 ppm 이상인 장소
- ② 갈탄·목탄·연탄난로를 사용하는 콘크리트양생장소 및 가설숙소 내부
- ③ 화학물질이 들어 있던 반응기 및 탱크의 내부
- ④ 유해가스가 들어 있던 배관이나 집진기의 내부

- ※ 미국과 영국의 경우 한국 및 일본과 달리 규제대상 밀폐공간을 법에서 구체적으로 열거하지 않고 포괄적으로 정의하되 사업주에게 해당 작업이 밀폐공간에 해당하는지를 파악하고 필요한 조치를 취하도록 의무화하고 있다.
- ※ 미국과 영국은 추가적으로 유체나 고체의 흐름과 고열을 밀폐공간에서의 유해위험 요인에 포함시키고 있다.

기본적으로는 17개 밀폐공간 작업에 대해 사업주에게 밀폐공간보건작업프로그램 수립·시행 의무를 부과하고 산안법 제14조에 의한 관리감독자로 하여금 작업장소 및 방법, 산소농도측정, 환기, 보호구 지급착용 등을 관리·감독하도록 하고 있다.

- ※ 사업주에게 의무로 부과된 밀폐공간보건작업프로그램에 포함되는 내용
 - 작업시작전 적정한 공기 상태여부의 확인을 위한 측정
 - 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
 - 공기호흡기 또는 송기 마스크 등의 착용과 관리
 - 그밖에 밀폐공간 작업근로자의 건강장해예방에 관한 사항
- ※ 밀폐공간보건작업프로그램에 대한 모델은 공단 보건국에서 개발하여 지도원을 통해 보급하고 있다.

측정에 대해서는 ‘산소농도 등’을 작업 전에 측정하도록 하여 산소와 황화수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄 등 폭발성 기체 등의 유해가스가 포함되는 것으로 해석될 수 있으나 구체적인 유해가스 명칭은 보건기준에 언급되지 않고 있다.

- ※ 일본의 경우 유해가스는 황화수소만이 해당되며 미국과 영국의 경우에는 특별한 유해가스의 지정은 없으나 고·액·기체를 막론하고 밀폐공간 작업근로자에게 직접적 위협이 될 수 있는 모든 인자가 해당된다고 볼 수 있다.

사업주로 하여금 밀폐공간 작업을 수행하는 근로자에 대하여 작업 시작 전에 산소농도의 측정, 사고 시 응급처치요령, 환기설비 등 안전한 작업방법, 보호구의 착용, 비상구출 등에 대한 교육을 실시토록 하고 있다.

- ※ 미국과 영국의 경우 밀폐공간 작업과 관련된 모든 관리자 및 근로자에게 교육 의무가 부과되어 있으며 관련 기록을 남기도록 하고 있으나 교육 실시자에 대한 특별한 규정은 없다. 실질적으로 관련 분야 전문가에 의한 교육만 인정된다.
- ※ 일본의 경우 산소결핍작업주임자에 대한 교육을 중재방 등 비영리 기관에 위탁하여 실시하고 수료증 이수자만 법적자격이 있는 것으로 인정된다.

사업주가 준수하여야 할 기타 기술적인 조치에 포함되는 내용

- 적절한 공기상태 유지를 위한 작업시작전 및 작업중 환기
- 밀폐공간 작업자 외 근로자에 대한 출입금지 조치
- 밀폐공간 입장 및 퇴장 시의 근로인원 점검
- 외부 감시인의 배치 및 밀폐공간 작업근로자와의 상시 연락체계 구축
- 사전 긴급구조훈련의 실시, 관련 기구의 비치 및 사고시의 대피 조치
- 적절한 공기호흡기, 안전대등 개인보호구의 지급과 착용 감독 및 유지관리
- 중독자에 대한 응급처치 및 의사 진료
- 기타 특수한 밀폐공간 작업에 따른 개개 작업별 특별조치 내용 등

기타 내용

- 사업주가 직접 고용한 근로자만을 보호대상으로 하고 있으며 외주 용역 등을 통해 밀폐공간 작업을 행하게 하는 경우 해당 근로자 보호를 위한 의무가 용역발주 사업주에게 전혀 없다.

- ※ 미국과 영국의 경우 해당 밀폐공간을 보유한 사업주가 용역계약 사업주에게 밀폐공간과 관련된 필요 정보의 제공과 작업 협력을 행하도록 명시

하고 있다. 또한 2개 이상의 사업주에 속한 근로자 등이 협력하여 동일 밀폐공간에서 작업을 하는 경우 상호 근로자 보호를 위한 협력의무도 규정하고 있으며 용역사업주도 밀폐공간 관련 필요 정보를 발주 사업주에게 요구토록 하고 있다. 일본은 한국과 같이 용역작업자 보호를 위한 발주사업주의 의무가 산결칙에 없다.

- 사업장 내에 밀폐공간이 존재하는 지에 대한 사전 인지와 해당작업 수행 시 근로자의 출입이 필요없는 방법을 사전에 고려토록 하는 기준이 없음.
- 밀폐공간에 대한 사전출입허가(permit) 기준이 없음.

□ 일본

산소결핍등에 대한 정의는 산소결핍과 황화수소의 경우로 한정하고 안위법 시행령에서 산소결핍 11개 장소와 황화수소발생 2개 장소를 지정하여 관리한다.

기본적으로 밀폐공간 작업에 대해 사업주에게 허가절차의 진행이나 밀폐공간 작업프로그램 수립·시행 의무를 부과하지는 않았으나 일정한 교육을 수료한 산소결핍위험작업주임자가 관련 작업을 책임지고 관리하도록 규정하고 있다.

- 산소결핍위험작업주임자는 1종산소결핍위험작업주임자(산소결핍과 관련된 과정을 수료한 자)와 2종산소결핍위험작업주임자(산소결핍 및 황화수소중독과 관련된 과정을 수료한 자)가 있다.
- 산소결핍의 위험만이 존재하는 11곳의 1종산소결핍위험작업에 대해서는 1종 또는 2종산소결핍위험작업주임자를 선임한다.
- 산소결핍 및 황화수소 중독위험이 동시에 존재하는 2곳의 2종산소결핍 위험등 작업에 대해서는 2종산소결핍위험작업주임 만을 선임한다.

※ 1종산소결핍위험작업주임자에 대한 강습에는,

- ① 산소결핍증 및 응급처치에 관한 사항
- ② 산소결핍의 발생원인과 방지조치에 관한 지식
- ③ 보호구에 관한 지식
- ④ 관련법령을 포함하도록 산결칙에 규정하였으며, 2종산소결핍작업주임자에 대한 강습에는 1종산소결핍위험작업주임자에 대한 강습 내용에 황화수소와 관련된 내용을 추가 하도록 하였다.

- 산소결핍위험작업주임자에게는 다음의 의무가 주어진다.
 - 작업에 종사하는 근로자가 산소결핍 공기를 흡입하지 않도록 작업방법을 결정하고 근로자를 지휘하는 일
 - 해당일의 작업개시 전, 재작업 실시, 근로자의 신체나 환기장치 등의 이상 시 산소농도의 측정
 - 측정기구, 환기장치, 공기호흡기등 및 기타 근로자가 산소결핍증에 이환 방지를 위한 기구 또는 설비의 점검
 - 공기호흡기 등의 사용상태에 대한 감시

※ 1종산소결핍작업위험주임자는 산소결핍과 관련된 사항만을 수행하나 2종 산소결핍위험작업주임자는 산소결핍 및 황화수소 중독 관련 측정·관리 등 업무를 동시에 실시한다.

산소결핍등 작업을 수행하는 근로자에 대한 사전교육 기준과 내용은 한국의 경우와 유사하다. 사업주가 준수하여야 할 기타 기술적인 조치에 포함되는 내용도 한국의 경우와 유사하다.

기타 내용

- 산소결핍등 작업장소에 대해 측정한 결과는 측정일시, 측정방법, 측정장소,

측정조건, 측정결과, 측정실시자 및 측정에 따른 조치내용을 기록 후 30년간 사업주가 보관하도록 의무화함.

※ 우리나라의 경우 산소 농도 등에 대한 사업주의 측정 의무는 있으나 해당 내용에 대한 기록과 보존의무는 없음.

- 산소결핍증 작업장소에 대한 측정에 필요한 기구를 사업주가 사전에 준비하고 사용이 가능하도록 규정.

※ 우리나라의 경우 측정장비의 사전구비에 대한 사업주의 의무는 없으며공단 지역본부/지도원/에서 관련 장비 대여를 위한 준비를 갖추고 있다.

- 산소결핍재해가 발생하였거나 산소결핍공기가 누출된 경우 지체없이 관할 지방노동사무소에 보고하도록 하고 있다.

※ 우리나라의 경우 중대재해를 제외하고는 사업주의 보고 의무는 없음.

□ 미국

사업주는 관할 사업장 내에 밀폐공간(confined space)이 존재하는지를 사전에 평가하고 경고 및 출입금지 표시를 게시하며 해당 장소가 허가요구밀폐공간(permit-required confined space)인지 또는 비허가밀폐공간(non-permit confined space) 인지를 결정하여야 한다.

OSHA 기준 제목에서 나타나 있듯이 밀폐공간 출입은 사업장 자체적으로 수립·시행하는 “허가(permit-required)”사항이며, 해당 행위의 관리 책임을 밀폐공간 출입관리자(entry supervisor)가 지도록 의무화하고 있다.

- 허가요구밀폐공간에 근로자가 출입할 필요가 없다고 사업주가 결정하는 경우 해당 장소에 대해서는 근로자 출입방지조치만을 취하도록 요구하고 있다.

허가요구밀폐공간에 근로자를 작업하도록 하는 경우 사업주는 ‘문서화된 밀

폐공간프로그램'을 작성하여 근로자나 근로자 대표에게 제공하여야 하며 해당 프로그램을 개발과 시행에 근로자를 참여시켜야 한다.

- 해당 밀폐공간 프로그램은 1년을 주기로 평가를 실시하고 필요에 따라 재 작성하여야 한다.

밀폐공간에 대한 모든 작업이 허가와 밀폐공간프로그램 작성 대상이 되는 것은 아니다.

◆ 사업주는 동일한 밀폐공간에 대하여 유사한 작업을 반복적으로 실시하는 경우로서 해당공간에

- ① 유해공기에 의한 위험만이 존재하고
- ② 지속적인 환기실시가 근로자의 안전을 확보할 수 있음을 입증하며
- ③ 위의 사항에 대한 측정 및 감시 시스템을 구비하고
- ④ 최초 측정 시 허가와 밀폐공간프로그램을 수립 시행하였으며
- ⑤ 필요한 자료와 정보를 문서화하여 근로자에게 제공한 경우에는 허가서와 밀폐공간프로그램의 시행을 다음 사항으로 갈음할 수 있다.

- 출입구의 개방 시 근로자의 안전 확보
- 출입구를 개방한 경우 방호울 등 근로자보호 시설 설치
- 근로자가 출입하기 전 산소, 폭발성가스, 유해가스 농도 측정 및 당해 근로자에게 결과 제공
- 근로자가 해당 공간에서 작업하는 동안의 유해공기 제거
- 근로자가 작업하는 지역에 대한 지속적인 청정 공기 공급
- 해당 공간의 공기를 주기적으로 측정하고 결과를 근로자에게 제공
- 공기의 상태가 근로자에게 위해를 주는 경우 근로자를 즉시 퇴피 조치
- 문서로 증명된 최초허가서(initial permit)를 사전에 작성하여 근로자에게 제공

사업주가 고용한 근로자뿐만 아니라 사업주가 보유한 밀폐공간에서 작업을 하는 타사 용역근로자를 보호하기 위해 필요한 정보와 협조를 용역 사업주에게 제공하도록 의무화하고 있다.

- 용역 사업주는 소속 근로자의 안전과 보건에 대해 1차적인 책임을 지며 이를 위해 밀폐공간 관련 필요 정보를 발주 사업주로부터 사전에 획득하고 필요한 협조체제를 유지하여야 한다.

밀폐공간과 관련된 안전보건교육은 관련된 출입관리자, 감시인 및 작업자 모두가 받아야하나 교육내용은 안전한 작업에 필요한 정보, 지식 및 기능이라는 정도만 명시하고 자세한 내용은 전문가의 판단에 맡긴다.

사업주가 준수하여야 할 기술적인 사항은 한국 및 일본과 유사함.

- 밀폐공간 여부 평가를 비롯하여 밀폐공간에 대한 관리사항, 밀폐공간에 대한 보건프로그램의 내용, 실제 출입을 할 경우 허가절차, 승인받은 출입자의 의무, 출입감독자의 의무 등을 자세히 명시하고 있다.

밀폐공간 출입작업자는 필요한 교육을 이수하고 해당 작업 허가서에 이름이 명기된 자만이 가능하다.

기술적인 안전한 작업방법은 한국 및 일본과 기본개념이 유사함.

- 산소, 폭발성 가스 및 유해가스의 공기 중 농도 측정
- 승인된 작업자 외 출입금지
- 감시인(attendat)의 배치 및 작업자와의 상호 연락 유지
- 허가서에 명기된 지정 작업시간만 작업을 허가
- 사업주가 작업자에게 공기측정장비, 환기장비, 연락장비, 개인보호구, 조명 장비, 사다리 및 응급장비 제공
- 긴급구호장비 등의 준비 및 필요시 구조활동 전개

☐ 영국

사업주는 원칙적으로 밀폐공간에 대해 근로자가 필수불가결하게 출입하여야 하는 경우에만 해당 작업을 실시하도록 규정

- 밀폐공간 작업을 근로자의 출입 없이 공간 밖에서 실시할 수 있도록 작업 변경이 가능한지를 우선적으로 검토하고 실행토록 법적으로 요구

- 근로자가 밀폐공간에 출입하지 않고 실시할 수 있는 작업의 예에는 연장 도구를 사용한 공기측정, 압력분사를 이용하는 탱크의 청소, 폐쇄회로 TV를 이용한 밀폐공간의 감시 등이 있다.

밀폐공간에 근로자를 출입토록 하는 작업의 시행이 필요한 경우 사업주는 해당 공간에 대해 위해·위험성 평가(risk assessment)를 실시하고 필요한 조치를 취하도록 하고 있으나 미국과 같이 허가나 밀폐공간프로그램의 시행을 강제 화하고 있지 않다.

※ 영국에서는 모든 사업주에게 작업장에 대한 위해·위험성평가를 의무화 하고 있는 바 이는 "Management of Health and Safety at Work Regulation 1992"에 규정되어 있으며, 사업주는 반드시 근로자와 협력하여 평가를 실시해야 한다.

※ 영국에서는 산소 결핍, 황화수소 등 유해가스, 화재·폭발, 기체/액체/고체의 질식 물질 이외에 체열의 상승에 따른 위험을 고려하여 고열을 위해 요인의 하나로 간주하는 것이 다른 나라와 다른 특징이다.

- 사업주가 실시하여야 할 평가에는 다음의 내용이 포함된다.

· 근로자가 수행하여야 할 업무 및 수행의 적절성

· 작업이 이루어질 환경의 실태

· 기존 물질, 잔재물, 오염물, 산소결핍, 작업 시 사용하고자 하는 물질, 점화원 등과 액체/고체/기체 상태로 근로자의 안전을 위협할 수 있는 주변공정 물질의 파악

· 작업 시 근로자가 처할 수 있는 유해 또는 위험한 상황의 예측 및 대응책

사업주는 위해·위험성평가의 결과에 따라 다음의 사항을 포함하는 안전작업절차(safe system of work)를 준수하여야 한다.

- 밀폐공간 작업을 지휘할 수 있는 작업관리자(supervisor)의 임명
- 관련 교육을 이수한 유경험 밀폐공간 작업자의 선정
- 작업장의 물리적 격리
- 작업시작 전 측정 및 청소
- 출입구 크기의 점검
- 피난기구 및 전원의 공급
- 개인보호구의 지급
- 비상사태 시의 대처방안
- 상호 연락 및 의사소통 방안

※ 영국에서는 허가(permit-to-work)를 안전작업시스템(safe system of work)의 일환으로 간주하여 해당 절차의 하위개념으로 설정하고 있다. 허가절차는 밀폐공간 작업을 안전하게 실시하기 위한 사전 확인이며 작업관리자, 현장감독자 및 밀폐공간 작업자 상호간의 연락을 수단으로 인정되므로 위해·위험성평가 결과 위해요인이 적은 경우 등에서는 이 절차를 생략할 수도 있도록 하였다.

미국과 같이 사업주는 자신이 고용한 근로자뿐만 아니라 자신의 관할 하에 있는 작업에 대해서는 타사 용역근로자를 보호하기 위해 동일한 조치를 강구하여야 한다.

- 이 경우 사업주에게 부과된 타사 근로자에 대한 의무는 ‘합리적으로 실행 가능한(reasonably practicable)’ 범위로 한정되므로 필요한 정보의 제공과 협력 체계의 유지 등으로 해석된다.

밀폐공간 작업과 관련된 모든 자는 기존의 경험과 작업의 종류에 따라 안전 보건교육을 이수하여야 하며 주기적(1년 간격 등)으로 보수 교육을 이수하여야 한다.

영국에서는 미국과 달리 위해·위험성 평가의 결과에 따라 사업주가 관리자나 감시인을 지정하지 않을 수 있다. 즉 해당 위해가 적고 작업이 복잡하지 않은 경우 적절한 교육과 경험이 있는 근로자만을 밀폐공간에 근무할 수 있도록 하고 있다. 이 경우 해당 근로자는 사업주의 지시와 지침에 따라 밀폐공간 출입과 관련된 측정·환기·감시 등의 업무를 수행하되 주기적인 확인과 필요한 비상 연락수단은 구비하여야 한다.

<표 II-11> 밀폐공간 작업과 관련된 국가별 법적기준 종합 비교

구 분	한 국	일 본	미 국	영 국
법적 작업장 명칭	-밀폐공간	-산소결핍등 장소	-밀폐공간 (confined space)	-밀폐공간 (confined space)
장소의 법적 지정	-보건규칙 [별표3]의 17개 장소	-안위법시행령 [별표6]의 산소결 핍 11개 및 황화수소 발생 2개 장소 <u>※후생노동성 장관이 추가로 장소를 지정할 수 있음</u>	-①근로자가 작업할 수 있는 좁은 공간으로, ②출입구가 제한되어 있으며, ③근로자가 지속적으 로 상주할 필요가 없는 곳	-합리적으로 예측 가능한 특정한 위험(a reasonably foreseeable specified risk)이 있는 탱크, 하 수도, 배관 등 밀폐된 장소
법적 관리대상 위험요인	-산소결핍 -황화수소 등 유해가스 -화재·폭발 위험	-산소결핍 -황화수소	-산소결핍 -황화수소 등 유해가스 -화재·폭발 위험 <u>-유체 및 고체의 흐름</u>	-산소결핍 -황화수소 등 유해가스 -화재·폭발 위험 <u>-유체 및 고체의 흐름</u> <u>-고열</u>
작업수행 기본 요건	-밀폐공간보건작업프로그램 시행	-없음	<u>-사업장 내 밀폐공간의 존재와 허가 필요 여부를 확인</u> <u>-사업장 자체허가서</u> <u>-밀폐공간프로그램</u>	<u>-근로자 출입 불필요 작업 우선고 려/밀폐공간작업 제한</u> <u>-사업장 자체허가서</u> <u>-위해·위험성(risk) 평가</u>

구 분	한 국	일 본	미 국	영 국
안전보건 집행자	-산안법 제14조에 의한 <u>관리감독자</u>	- <u>작업주임자</u> 선임 (선임요건은 교육이수)	-밀 폐 공 간출 입 관 리 자(entry supervisor) 지정	-감독자(supervisor) 지정
근로자 등 지정/교육	-관리감독자 직무 의무 -작업전 근로자 교육 의무	- <u>작업주임자 지정 의무</u> - <u>작업주임자 교육 의무</u> -근로자교육 의무	- <u>허가서에 출입관리자/감시자/작업자 지정</u> - <u>모든 관련자 교육 의무</u>	- <u>허가서에 감독자/감시자/작업자 지정 의무</u> - <u>모든 관련자 교육 의무</u>
기술적 요구사항	-산소/유해가스 등 측정 -환기 및 배기 -보호구 지급/착용/관리 -감시인 배치/인원점검 -긴급구조훈련/대피조치 -필요한 응급처치/진료 등	-산소/유해가스측정 -환기 및 배기 -보호구 지급/착용/관리 -감시인 배치/인원점검 -긴급구조훈련 및 대피 -필요한 응급처치/진료	-산소/유해가스측정 -환기 및 배기 -보호구 지급/착용/관리 -감시인 배치/인원점검 -긴급구조훈련 및 대피 -필요한 응급처치/진료	-산소/유해가스측정 -환기 및 배기 -보호구 지급/착용/관리 -감시인 배치/인원점검 -긴급구조훈련 및 대피 -필요한 응급처치/진료

※ **청색 글씨로 표시된 부분**은 산업법 상에서 규제되지 않은 대표적인 밀폐공간 관련 외국의 기준임

3) 산안법에서 추가로 도입이 검토되어야 할 내용

□ 밀폐공간작업의 적극적 회피 및 파악

영국과 같이 사업주가 밀폐공간에 근로자를 투입하지 않는 대체 작업을 통해 밀폐공간 작업을 적극적으로 회피할 수 있도록 하는 방안을 선언적으로라고 도입하는 것이 필요하다.

미국의 경우 사업주가 관할 작업장에 밀폐공간이 존재하고 있는지를 사전에 파악하고 경고/출입금지 표시를 부착하도록하고 있으므로 적극적인 근로자 보호 차원에서 이러한 기준의 도입검토가 필요하다.

미국 및 영국과 같이 해당 밀폐공간에 대해 위험성평가를 실시하거나 허가 여부를 결정하는 절차를 마련할 필요가 있다.

□ 밀폐공간 대상의 결정

한국과 일본의 경우 13~17개의 밀폐공간 또는 산소결핍 등 장소를 구체적으로 지정하고 있으나 미국과 영국은 보다 포괄적으로 밀폐공간을 정의하고 있다.

한국의 17개 장소는 일본의 산소결핍 등 장소 13 곳에 근거하고 있으며 추가된 4개 장소에 산소농도와 황화수소농도만을 규정하고 있으므로 미영과 같이 포괄적으로 밀폐공간을 정의 하거나 또는 산소와 황화수소 이외의 유해물질에 대한 농도 규정을 신설할 필요가 있다.

영국의 경우 고열작업에 의한 위험을 포함하도록 있으므로 국내에서도 밀폐공간 작업 위험요인에 고열을 포함시킬 필요가 있다.

□ 밀폐공간작업에 대한 허가 절차의 도입

일본의 경우에 있어서도 최근들어 산소결핍증등에 의한 재해가 증가하고 있고 일산화탄소 중독 등 황화수소 이외의 유해물질에 의한 사고를 포함하는 경우 미국과 영국의 추정 밀폐공간 재해보다 다소 높은 수치를 나타낼 가능성이 있는 것이 허가나 밀폐공간프로그램의 미시행 등 기준의 느슨함에도 어느 정도 기인할 수 있다고 판단된다.

우리나라에서 시행되고 있는 밀폐공간보건작업프로그램은 시행 취지는 미국이나 영국의 제도와 유사하나 산업 현장에서 충분히 받아들여지지 않고 있는 것이 현실이므로 밀폐공간작업에 대한 허가와 밀폐공간프로그램을 동시에 사업주에게 요구하는 보건기준 개정을 추진할 필요는 있다.

다만, 밀폐공간작업에 대한 허가절차의 필요성은 해당 재해를 관리하는 입장에서는 도입의 필요성이 충분하나 중소기업의 사업장에서의 시행을 충분히 담보할 수 없고 지나친 규제라는 인식을 사업주에게 줄 수도 있다는 과도 규제적 측면도 있다.

허가와 밀폐공간프로그램을 사업주에게 요구하는 경우 현재 일본의 기준을 따라 17개로 한정된 밀폐공간의 대상을 미국이나 영국과 같이 포괄적으로 확대하고 해당 유해인자에 고열까지 포함시키는 방안을 적극적으로 검토하여야 한다.

□ 밀폐공간작업의 관리자

우리나라의 경우 산안법 제14조에 의한 관리감독자에게 밀폐공간에 대한 안전작업을 맡기고 있으나 책임 소재가 명확하지 않고 일본, 미국, 영국 모두 적절한 형태의 관리자를 밀폐공간 작업에 대해 별도로 지정하도록 하고 있다.

우리나라도 밀폐공간작업관리자(가칭) 제도를 해당 보건규칙에 추가하여 밀폐공간작업에 필요한 의무를 부과하는 방안의 도입을 고려할 수 있다.

- 밀폐공간에 대한 관리자의 별도 지정의무의 입법이 곤란한 경우 산안법 제14조에 의한 관리감독자가 해당 사업장에서 밀폐공간 관련 업무를 관장하는 때는

반드시 공단 등에서 실시하는 관련 교육을 이수하고 수료증을 갖추도록 하는 방안도 대안으로 고려될 수 있다.

밀폐공간작업관리자(가칭)의 자격은 공단교육원에서 이미 실시하고 있는 ‘밀폐공간작업안전’ 교육 등을 이수하여 수료증을 보유한 자로 하는 경우 큰 문제가 없다고 판단된다.

□ 밀폐공간작업 관계자의 교육

미국, 영국 일본 모두 밀폐공간에서 작업하는 근로자뿐만 아니라 관리자등 모든 관련자가 필요한 교육을 받도록 하고 있다.

국내 밀폐공간재해의 대부분이 관리자의 무지와 근로자에 대한 교육의 불충분에 기인할 가능성이 크므로 밀폐공간과 관련된 교육에 대해서는 보다 강한 강조가 필요하다. 밀폐공간재해와 관련된 교육은 고도의 기술과 기능을 요구하는 분야가 아니므로 공단 교육원 외에 지역교육정보센터에서도 실시가 충분히 가능하다고 판단된다.

□ 기타 사항

사업주가 관할하는 작업장에서 다수의 사업주가 밀폐공간 작업에 관여하는 경우 필요한 관련 정보의 사업주간 교환과 근로자 보호를 위한 협력 작업을 보건 기준에 명시할 필요가 있다.

미국의 경우 사업장내에 존재하는 밀폐공간의 파악과 허가 등에 관련된 절차도(Flow chart)를 마련하여 OSHA 기준에 부록으로 제공하고 있으므로 보건 기준에 이의 도입을 검토할 필요가 있다.

4. 질식재해 발생현황에 대한 고찰

공단의 일선 지역본부/지도원에서 작성한 중대재해 조사표를 기준으로 집계하는 밀폐공간 질식재해 통계와 연구진이 산업재해통계를 바탕으로 집계한 질식재해 통계는 많은 차이가 있었다. 중대재해조사표에 근거한 질식재해자수는 '99~'07년도의 9년간 연평균 26.3명인데 반하여 산업재해통계의 발생형태 중 산소결핍 항목과 유해화학물질중독 항목의 밀폐공간 발생건수를 집계하면 연평균 밀폐공간 질식재해자수는 39.2명으로 나타났다.

이러한 차이는 공단의 산하기관에서 보고하는 재해는 중대재해사례를 위주로 보고하기 때문이다. 밀폐공간 질식재해는 중대재해로 이어지지 아니한 형태의 재해도 발생하는데 이는 중대재해보고의 대상에 포함되지 않는 것이다.

참고로 산업안전보건법 시행규칙 제2조에 의한 중대재해라 함은,

- ① 사망자가 1인 이상 발생한 재해
- ② 3월 이상의 요양을 요하는 부상자가 동시에 2인 이상 발생한 재해
- ③ 부상자 또는 직업성질병자가 동시에 10인 이상 발생한 재해를 의미한다.

따라서 밀폐공간 질식재해의 정확한 통계의 작성을 위해서는 중대재해사례에 의존해서는 안되며 다음과 같은 개선이 필요하다.

- 1) 산업재해발생형태의 항목 중 유해화학물질중독 항목을 개방공간과 밀폐공간으로 구분하여야 한다. 그렇게 한 후 산소결핍 항목과 밀폐공간 유해화학물질중독 항목의 건수를 합하면 밀폐공간 질식재해 통계가 정확히 산출될 수 있다. 즉, 질식재해 건수 = 산소결핍재해 건수 + 밀폐공간 유해화학물질중독 건수인 셈이다.
- 2) 기존의 중대재해조사표 서식을 표준화할 필요성이 있다. 현재는 조사표에 발생형태와 기인물의 기재여부는 작성자의 재량에 의지하는 데 발생형태와 기인물을 반드시 기재하도록 서식을 개선하면 질식재해여부를 쉽게 판단할

수 있다. 또한 기인물이 화학적인자일 경우 기인물의 농도가 NIOSH 등에서 정한 IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health, 즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도) 또는 LC₅₀(Lethal Concentration 50, 반수치사 농도) 등에 도달하였는지를 반드시 기재하도록 하여야 기인물에 대한 신뢰를 높일 수 있다.

외국의 밀폐공간 질식재해 예방에 관련된 제도와 우리나라의 제도를 비교한 결과 산업안전보건법에서 추가로 도입이 검토되어야 할 내용은 다음과 같다.

1) 밀폐공간 작업의 적극적 회피 및 밀폐공간 여부의 판단

영국과 같이 사업주가 밀폐공간에 근로자를 투입하지 않는 대체 작업을 통해 밀폐공간 작업을 적극적으로 회피할 수 있도록 하는 방안을 선언적으로라고 도입하는 것이 필요하다. 또 미국의 경우처럼 사업주가 관할 작업장에 밀폐공간이 존재하고 있는지를 사전에 파악하고 경고/출입금지 표시를 부착도록 하는 적극적인 기준의 도입검토가 필요하다.

2) 밀폐공간 대상의 결정

한국의 경우 17개의 밀폐공간 장소를 구체적으로 지정하고 있으나 사업주나 근로자가 이해하기에 매우 어려운 내용으로 구성되어 있다. 미국과 영국의 경우처럼 보다 포괄적으로 밀폐공간을 정의하여야 한다.

3) 밀폐공간에 대한 허가절차의 도입

우리나라에서 시행되고 있는 밀폐공간보건작업프로그램은 시행 취지는 미국이나 영국의 제도와 유사하나 산업 현장에서 충분히 받아들여지지 않고 있는 것이 현실이므로 밀폐공간작업에 대한 허가과 밀폐공간프로그램을 동시에 사업주에게 요구하는 보건기준 개정을 추진할 필요가 있다.

Ⅲ. 유해가스별 특성 및 건강영향

1. 산소

1) 산소의 특성

산소는 상온·상압에서 무색·무미·무취의 기체이고 물과 알콜에 녹으며 산소자체는 가연성이 아니나 다른 물질의 연소를 돕는 물질이다. 비중은 액체일 때 1.141(측정온도 -183°C), 고체일 때 1.426(측정온도 -252°C)이며 기체의 밀도는 0°C , 1 atm에서 1.429 g/m^3 이다. 공기중에는 산소가 약 21%, 질소 78% 그리고 이산화탄소, 알곤, 헬륨등이 약 2%로 구성되어 있다. 표준대기 중 공기의 구성성분은 <표 Ⅲ-1>과 같다.

〈표 III-1〉 표준대기 중 공기의 구성성분

구성성분	함유량 (ppm)	분압(mmHg)
질소 (Nitrogen)	780,900	593
산소 (Oxygen)	209,500	159
아르곤 (Argon)	9,340	7
이산화탄소 (Carbon dioxide)	335	0.3
네온 (Neon)	18	0.01
헬륨 (Helium)	5	0.004
메탄 (Methane)	2	0.002
크립톤 (Krypton)	1	0.001
수소 (Hydrogen)	0.5	-
산화질소 (Nitrous oxide)	0.5	-
제논 (Xenon)	0.09	-
오존 (Ozone)	0.01	-
합계	1,000,000	760

2) 산소결핍에 의한 건강장해

호흡활동은 폐순환으로 유입되는 혈액으로부터 적절한 양의 이산화탄소를 제거하고 폐순환을 떠나는 혈액에 충분한 산소를 공급하는 것이다. 이러한 기능들이 적절히 수행되려면 산소를 공급하고 이산화탄소를 제거하기 위해 신선한 공기가 폐포 내로 적절히 공급되어야 하고, 폐혈관계를 통해 충분한 혈액의 순환이 있어야 하고 폐포와 폐모세혈관 사이에 충분한 가스교환이 이루어져야 하며 그리고 폐모세혈관 혈액과 폐포 내 가스 사이에 적절한 접촉이 있어야 한다. 따라서, 허파를 통해 폐포에 까지 공기가 들어가는 활동 자체, 폐포에서 혈액으로 산소가 전달되는 과정, 혈액에서 세포로 산소가 전달되는 과정, 그리고 미토콘드리아의 산화에 따라 에너지를 생성하는 활동 등 상기의 네가지 경우에 문제가 발생할 경우 인체에 심각한 영향을 미칠 수

있다.

〈표 III-2〉 산소농도에 따른 인체영향

인체영향	산소농도(%)	산소분압(mmHg)
증상없음	16-20.9	122-159
심장 및 호흡박동수 증가, 집중력 저하	16	122
작업 후 비정상적 피로감, 판단력 저하	14	106
판단능력의 급격한 저하, 영구적 심장손상, 구토, 메스꺼움	12	90
의식불명, 행동둔화, 무기력감	< 10	< 76
경련, 가쁜 숨, 심장정지, 수분 후 사망	< 6	< 46
한두번 호흡으로 사망	< 4	< 30

(NIOSH 1976, Miller and Mazur, 1984, ANSI 1992, and CSA 1993)

산소농도가 16 %이하로 저하된 공기를 호흡하게 되면 체조직의 산소가 부족하게 되어 빈맥 및 빈호흡, 구토, 두통 등의 증상이 나타나고 10%이하가 되면 의식상실, 경련, 혈압강하, 서맥(맥박수 감소)을 초래하게 되어 질식 사망하게 된다. 산소농도에 따른 인체 영향은 <표 III-2>와 같다

신체 내 세포활동은 혈액에 의해 공급되는 포도당(Glucose)에서 만들어지는 ATP(아데노신 3인산, $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$)라는 형태의 에너지 발생원에 지배되며, 그 생성에 산소를 소모하게 된다. ATP 생성은 각각의 세포자신이 산소의 공급을 받아 생성하고 있으며 따라서 에너지 소비량, 즉 산소소비량을 비교해보면 생체내의 각 조직에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 전 기관 중 최대의 산소소비자인 뇌는 그 중량이 겨우 1.4 kg으로 체중의 2 % 정도이나 그 소비량은 전신의 약 25 %에 해당한다. 따라서 산소부족에 대해 가장 민감한 반응을 나타내는 것은 최대의 산소 소비소인 뇌의 대뇌피질이다. 대뇌피질은

사람에게서 최고로 발달되어 있긴 하지만 이것이 산소결핍에 대해서는 가장 취약한 요인으로 작용하게 된다. 산소결핍의 증상을 보면 먼저, 대뇌피질의 기능저하로부터 시작되고, 결국은 대뇌피질의 세포가 파괴되어 기능을 상실하는 단계를 거쳐 뇌세포 전체가 파괴되어 사망하게 된다

또한, 근육에는 헤모글로빈과 비슷한 마이오글로빈이 있어 혈액에서 산소를 빼앗아 저장하는 성질이 있다. 따라서, 폐포공기의 산소분압이 40 mmHg로 저하했을 때 혈액 중 헤모글로빈의 산소포화도(결합도)는 66 % 밖에 되지않으나 근육의 마이오글로빈은 헤모글로빈이 가지고 있는 부족한 산소를 빼앗아 94 % 까지도 포화해버린다.

정상성인은 안정시 분당 12~16회의 흡기를 하며, 각 호흡당 일회호흡량은 약 500 ml이나 매 호흡당 흡입된 신선한 공기의 약 30 %는 폐포내에 도달하지 못하고 나머지 70 %만 폐포에 도달하여 기존의 폐포 내 가스와 혼합되어 가스교환에 참여한다. 분당 약 7ℓ의 공기를 흡기하여 2ℓ는 사라지고 5ℓ만 폐포에 도달하게된다. 폐포에서의 가스교환은 산소와 이산화탄소의 분압차에 의한 확산현상으로 일어나므로 산소결핍에 의한 질식이라고 엄격하게 판단하기 위해서는 폐동맥의 PaO_2 가 40 mmHg 보다 낮아 가스교환이 이루어지지 않는 상태가 되어야하는데 공기 중의 산소농도가 11 %이하일때 동맥의 PaO_2 가 40 mmHg 보다 낮게된다. 예를 들어 산소농도 14.6 %, 이산화탄소농도 30 %를 포함한 공기를 흡입하면 동맥혈의 PaO_2 는 약 55 mmHg가 되므로 직접 사인은 산소결핍에 의한 질식사라기 보다 이산화탄소에 의한 중독이라고 할 수 있다. 흡기가스의 경우 O_2 와 CO_2 의 분압은 $P_{O_2} \approx 150$ mmHg, $P_{CO_2} \approx 0$ mmHg이며 정맥혈의 경우 $P_{O_2} \approx 40$ mmHg, $P_{CO_2} \approx 46$ mmHg이다. 대기압 변화에 따른 산소분압과 산소농도를 살펴보면 <표 III-3>과 같다

〈표 III-3〉 대기압변화에 따른 산소분압과 산소농도 (Hultgren, 1992)

대기압	산소분압 (mmHg)	산소농도(%)
760	159	20.9
636	133	17.5
570	120	15.8
456	95	12.5
390	82	10.8
249	52	6.8

2. 황화수소

1) 황화수소의 특성

황화수소는 무색의 기체로 계란썩는 냄새가 나는 대표적인 악취물질로 유독성가스로 취급된다. 분자량 34.08, 가스밀도(공기=1일때) 1.19, 밀도 1.539 g/l (0℃, 1 atm)이며 끓는점 -60.2 ℃(760 mmHg), 녹는점 -82.9 ℃(760 mmHg)으로 물, 에탄올, 가솔린, 등유 등에 잘 녹으며 산소중에서 푸른 불꽃을 내며 타서 이산화황을 생성하고, 산소가 부족할 경우 황을 생성한다. 물에 대한 용해도(20 ℃)는 2.9 % by weight이며 폭발범위는 4.5 %에서 45.2 %이다 (After Macaluso, 1969). 황화수소의 냄새는 약 0.0005~0.3 ppm의 농도에서도 감지가 가능한 반면 고농도에서는 후각의 감각을 잃어버릴 수 있어 더욱 위험하다.

노출기준은 8시간 가중평균노출기준(TWA)이 10 ppm, 단시간 노출기준(STEL)이 15 ppm이며 이는 최소한의 눈 및 호흡기기계의 자극, 피로증상, 두통, 어지러움 및 중추신경계 장애와 호흡기의 마비, 갑작스런 죽음 등의 재해의 발생 가능성을 최소화하기 위한 농도기준이다.

황화수소는 화산, 유황온천 등에서 자연적으로 생성되기도 하고 석유정제 공정이나 피혁, 아교, 형광물질 원료 등의 제조공정 중 부산물로 인위적으로 발생하기도 한다. 펄프공장의 경우, 펄프원료를 수산화나트륨과 황화나트륨 존재 하에서 증류, 분해하여 셀룰로오스를 얻는데 이 때 황화수소, 메르캅탄 등을 부산물로 발생시킨다. 그 외 혐기성 발효가 일어날 수 있는 대도시의 하수 또는 쓰레기장에서도 발생된다.

〈표 III-4〉 황화수소 물리화학적 특성

물리화학적 특성	황화수소
분자식 (Molecular fomula)	H ₂ S
분자량 (Molecular weight)	34.08
가스밀도 (Gas density, air=1)	1.19
증기압 (Vapour pressure)	15600mmHg at 25℃
물 용해도 (Solubility in Water, 20℃)	2.9% by weight
물/옥탄올 분배계수	0.23 (추정치)
인화점 (Autoignition temperature)	260℃
폭발범위 (Explosive range in air)	4.3 ~46%
색깔 (Color)	무색
냄새 (Odor)	썩은 달걀냄새
노출기준 (산업안전보건법)	TWA 10ppm, STEL 15ppm

(출처 : Macaluso(1969), 물질안전보건자료(KOSHA))

〈표 III-5〉 황화수소 노출기준

노출 기준	황화수소 농도 (ppm)
8시간 시간가중 허용농도 (Threshold Limit Value_Time Weighted Average)	10
단시간 노출 허용농도 (Threshold Limit Value_Short Term Exposure Limit)	15
천장값 (Recommanded Exposure Limit_Ceiling)	10
즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도 (Immediately Dangerous to Life and Health)	300
50% 치사농도 LC ₅₀ (Lethal Concentration)	952

OSHA(1985)의 보고에 의하면 밀폐공간에서 가장 많은 사망자를 발생한 물질로 공기보다 비중이 커서 무거우므로 높은 농도의 황화수소는 밀폐공간 내 저층부에 주로 존재하여 환기가 원활히 이루어지지 못한다. 황화수소의 수용성은 황화수소 분자가 이온화되면서 Hydrosulfide와 Sulfide 이온을 포함하는 용액으로 약한 산성을 띠게된다.

2) 황화수소에 의한 건강장해

미국 산업위생가협회(ACGIH)의 TLV(Threshold Limit Values)의 Documentation을 살펴보면 동물실험 중 개(dog)를 이용한 급성실험에서 3,000 ppm에서는 몇 번의 호흡 후 호흡이 멈추었으며 1,000 ppm에서는 15~20분 후 사망하였다고 기술되어있다. Lund와 Wieland의 연구에서 원숭이를 500 ppm에 22~35분 동안 노출하였을 때 3마리 중 한 마리가 15분 이내에 의식을 잃었으며 현미경 결과 소뇌의 운동근육이 황화수소의 주요 손상기관으로 조사되었다. 아만성 실험(90일)에서는 344마리의 랫트와 쥐를 대상으로 0, 10.1, 30.5와 80 ppm 농도에서 실험한 결과 80 ppm에서 체중감소가 나타났고 대조군에 비해 뇌의 무게가 감소하였다. 조직병리학적으로는 비후점막에 염증이 나타났다고 보고하였다

미국 국립산업안전보건연구원(National Institutes for Occupational Health)에서는 황화수소가 작업장 내 사망의 주요원인이라고 하였으며 그동안의 재해 사건을 통해 유기물이 부패하고 있는 밀폐공간에 적절한 보호구 없이 출입하였을 때 얼마나 위험한지를 설명하고 있다. 약 1,000~2,000 ppm 농도의 황화수소가 함유된 공기를 호흡하게 되면 호흡중추가 마비되어 호흡을 멈추게 되며 500~1,000 ppm에서는 무산소 호흡으로 인한 뇌에 산소를 공급하는 경동맥이 자극을 받아 호흡항진(호흡과다)이 발생하게 된다. 약 50~500의 저농도에서는 눈, 호흡기계에 자극이 있고 250~600 ppm농도에 장시간 노출되었을 때는 호

흡기계 부종이 발생한다고 보고하였다. Millby는 장기간 노출 시 50ppm에서도 호흡기 부종이 발생할 수 있다고 하였으며 20 ppm에서도 눈의 건강에 나쁜 영향을 줄 수 있다고 보고하였다.

〈표 3-6〉 황화수소의 인체에 미치는 건강영향

인체반응	황화수소 농도 (ppm)
냄새역치	0.003-0.02
달걀 썩은 냄새	> 30
혐오스러운 냄새	30 - 100
후각적 피로	> 100
눈 염증, 결막염, 각막 부식	< 20 ppm/ <8 시간
안구 통증, 두통, 식욕부진, 체중감소, 어지러움	15 - 25
급성 결막염, 눈물, 광선 공포증, 각막염	50 ppm/ 1시간
의식상실, 사지경련, 혈압강하	230 ppm/ 20분
의식불명, 호흡기 부종, 경련, 혈뇨, 사망	> 1,000 ppm/ 1분
혼수상태 (1회 호흡 후)	1,000 - 2,000

(NIOSH, 1977)

황화수소는 주로 공기호흡을 통해서 체내에 들어오는데 일부 피부를 통해서도 체내에 들어오기도 한다. 황화수소는 시안화수소처럼 세포에 직접적인 작용을 일으키는데 세포의 내부 호흡이 정지하여 중추신경이 마비되고 실신하거나 호흡정지 또는 질식 증상을 일으킬 수 있다. 흡수된 황화수소는 주로 혈액으로 흡수되어 sulfate로 전환된 후 소변으로 배출된다. 대부분의 경우 명확하게 노출농도와 노출시간이 알려지지 않는 않지만 500 ppm이 넘는 고농도에 1시간 미만으로 노출되었을 시 의식을 잃었다가 회복이 가능한 정도라고

알려져있다. 하지만 일부 보고에서는 한번 500 ppm정도의 고농도에 노출되고 나면 영구적 신경손상으로 두통과 집중력 저하, 기억력 장애 등을 얻을 수 있다. (Toxicological profile for hydrogen sulfide, U.S. Department of Health and Human services)

쥐를 이용한 동물실험에 의하면 약 800 ppm에서 의식을 잃었으며 약 400ppm에서 4시간 노출되었을 때 중앙신경기능이 저하되고, 무력감과 폐 부종등을 유발하는 것으로 조사되었다. 80~200 ppm에서 5일 이상 노출되었을 때 신경학적 검사에서 기능저하를 나타내었고, 낮은 황화수소 농도에 노출되더라도 신경학적인 효과 및 호흡기 효과를 야기한다. 알려진 신경학적 효과로는 운동신경 장애, 기억력 감퇴, 환각, 후각손상 등이 있고 호흡기 효과로는 비염, 인후염, 기침, 호흡곤란 등이 있다. 인체에 해로운 효과가 나타나기 시작하는 낮은 농도란 80ppm에서 매일 3시간씩 5일 이상, 30ppm에서 매일 6시간 이상 7일 이상 노출되는 정도의 농도이다.(Toxicological profile for hydrogen sulfide, U.S. Department of Health and Human services)

3. 일산화탄소

1) 일산화탄소의 특성

일산화탄소는 분자량이 28.01이고 비중이 공기와 거의 비슷한 무색, 무취의 기체로 일상생활 주변에 흔히 존재하는 석탄가스, 프로판가스, 부탄가스 등의 연료용 가스, 목재, 석탄, 석유, 가솔린, 등유 등의 연료, 자동차 및 비행기 연료 등의 유기연료 등이 불완전 연소할 때 발생하며, 담배 연기속에 약 4 % 함유하고 있으며 자동차 배기가스 중에는 약 0.5~10 % 정도를 포함하며, 고속도로 및 담배연기가 가득한 방안의 대기 중 일산화탄소 농도는 2~50 ppm 정도를 나타낸다. (혈중 일산화탄소 헤모글로빈의 분석법에 관하여_박성우, 1992)

노출기준은 8시간 가중평균노출기준(TWA)이 25 ppm이며 이는 카르복실 헤모글로빈(COHb) 수준이 3.5 % 미만을 유지하기 위한 농도로 신경행동학적 변화를 최소화하고 심장혈관을 정상적으로 유지하는데 필요한 농도이다. 또한 이 농도는 임신부등과 같이 특수한 환경에 놓인 개인에게도 상해가 가해지지 않을 정도의 안전한계를 충분히 고려한 농도이다.

일산화탄소는 가장 잘 알려진 화학적 질식제의 한 종류로 화재로 인한 연기 등이나 각종 사업장에서도 흔히 노출될 수 있는 유해가스이다. 포스겐, 철, 니켈 등의 제조, 제련공장, 석유화학공장, 주물공장 또는 터널이나 탄광 등에서 발생된다. 특히, 밀폐공간에서 많은 사망 재해를 유발하였는데 일산화탄소는 무색에 냄새가 없어 위험성을 사전에 인지하기가 어렵다.

〈표 III-7〉 일산화탄소 물리화학적 특성

물리화학적 특성	일산화탄소
분자식 (Molecular fomula)	CO
분자량 (Molecular weight)	28.0
가스밀도 (Gas density, air=1)	0.968
증기압 (Vapour pressure)	15600mmHg at 25℃
물 용해도 (Solubility in Water, 21℃)	0.004% by weight
물/옥탄올 분배계수	해당안됨
인화점 (Autoignition temperature)	609℃
폭발범위 (Explosive range in air)	12.5 ~74.2%
색깔 (Color)	무색
냄새 (Odor)	무취
노출기준 (산업안전보건법)	TWA 30ppm, STEL 200ppm
독성정보	-

(출처 : NAFA(1970), 물질안전보건자료(KOSHA))

2) 일산화탄소에 의한 건강장해

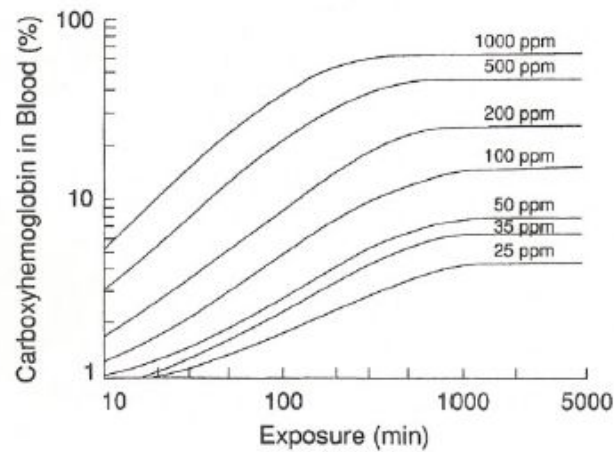
일산화탄소를 흡입하면 폐에서 혈액 속의 헤모글로빈과 결합하여 일산화탄소 헤모글로빈을 형성하고, 이 때문에 혈액의 산소운반능력이 상실되어 내부적인 질식상태에 빠지게 된다. 일산화탄소와 헤모글로빈의 친화력은 극히 강하여 산소보다 210배의 세기로 결합하기 때문에 저농도에서도 다량의 일산화탄소-헤모글로빈을 형성하여 산소운반을 저해하므로 내질식을 일으킨다. 일산화탄소-헤모글로빈은 헤모글로빈에 의한 산소운반을 억제하며 조직으로부터 산소유리를 감소시키는 등 여러 가지 생리학적 변화를 초래하게 된다

우리 체내에서 평균 시간당 0.4 ml의 일산화탄소 가스를 heme의 이화작용

(catabolism)에 의해 배출하고 있으며 이는 보통 정상인의 경우 COHb의 농도가 0.4~0.7 % 정도가 됨을 시사한다. 도시에서 살고있는 비흡연자의 경우 COHb 농도는 1~2 % 정도이고, 흡연자의 경우는 5~6 % 정도가 되며, 대기 중 CO농도가 각 50, 100, 200 ppm일 때, COHb 포화농도는 각 8, 16, 30 %가 된다고 하며, 포화도가 12~13 % 정도일때 까지는 흡연자나 비흡연자나 모두 어떤 간섭물질과 상관관계의 정립이 요구되고 있다고 보고하였다. (혈중 일산화탄소 헤모글로빈의 분석법에 관하여_박성우, 1992)

사람에 따라 일산화탄소에 대한 감수성은 다르지만 저농도에 반복적으로 노출될 경우 두통, 피로감, 사고장애, 현훈, 착각각증, 흉통, 시야장애, 오심, 구토 그리고 복통 등의 증상과 신경계의 변화도 유발된다는 연구가 있는 반면 일산화탄소가 다른 약물이나 독성물질과 같이 체내에 축적되는 것이 아니며 노출이 멈추는 즉시 일산화탄소가 혈액소와 결합함으로써 만들어졌던 체내의 Carboxyhemoglobin(일산화탄소-헤모글로빈)이 해리되어 방출되기 때문에 특기할만한 중독증상이 없다는 보고도 있다. 체내에 흡수된 일산화탄소의 양은 COHb의 농도가 30 % 이상이 되면 생명에 위협을 초래하는 것으로 알려져 있으며 약 50 %에서 coma 상태에 이른다고 하였다 (혈중 및 호기 일산화탄소를 이용한 일산화탄소-헤모글로빈 농도간의 관련성 연구, 김형수 등 _2001), Safety and Health in Confined Space, Neil McManus)

<그림 III-1>은 일산화탄소의 노출농도와 시간에 따른 COHb 포화농도이다. 그림에서와 같이 1,000 ppm에서는 약 180분 이후에 의식불명 상태에 도달하며 농도의 높고 낮은 경우 모두 일정시간이 지나면 혈중 Carboxyhemoglobin (일산화탄소-헤모글로빈)은 포화상태에 이르게 된다.



[그림 III-1] CO 폭로량과 COHb 레벨 관계 (Peterson 1975)

〈표 III-8〉 CO 폭로량과 건강영향

농도(ppm)	폭로시간	영향
5	20min	교차신경계 반사작용 변화
30	1시간	시각, 정신기능 장애
200	2~4시간	전두부중, 강도의 두통
500	2~4시간	심한두통, 공포심, 시력장애, 허탈감
1,000	2~3시간	맥박이 빨라짐, 경련을 수반한 실신
2,000	1~2시간	사망

미국 국립산업안전보건연구원에서는 일산화탄소에 대한 노출수준을 다음과 같이 권고하고 있다. 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health)로는 약 1,500 ppm이며 LC₅₀ (Lethal Concentration) 은 약 5,207 ppm이다.

<표 III-9> 일산화탄소 노출기준

노출 기준	일산화탄소 농도 (ppm)
8시간 시간가중 허용농도 (Threshold Limit Value_Time Weighted Average)	25
8시간 시간가중 권고농도 (Recommended Exposure Limit_Time Weighted Average)	35
천장값 (Recommended Exposure Limit_Ceiling)	200
즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도 (Immediately Dangerous to Life and Health)	1,500
50% 치사농도 LC ₅₀ (Lethal Concentration)	5,207

일산화탄소의 독작용은 노출량보다는 흡수량에 의하여 주로 좌우되며 체내에 흡수되는 일산화탄소의 양은 일산화탄소 농도뿐만 아니라 맥박수와 호흡량에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 혈중 일산화탄소를 측정하면 대기중의 일산화탄소 농도를 측정하는 것에 비하여 일산화탄소 노출이 인체에 미치는 효과를 더욱 잘 반영할 수 있다.

4. 이산화탄소

1) 이산화탄소의 특성

이산화탄소는 밀폐공간질식 재해의 사망원인으로 종종 언급되는 물질이다 (OSHA 1985, NIOSH 1994). 이산화탄소는 대기 중에 존재하고 있으며 약 350 ppm의 농도를 나타내나 최근 약 380 ppm(Kleen 보고서)으로 상승하여 기후변화를 유발하는 주요 원인으로 지목받고 있다. 이산화탄소의 사람의 호흡이나 엔진의 내부 연소시 발생하며 화학공장과 생물학적 반응과정에서도 발생된다.

〈표 III-10〉 이산화탄소 물리화학적 특성

물리화학적 특성	이산화탄소
분자식 (Molecular fomula)	CO ₂
분자량 (Molecular weight)	44.0
가스밀도 (Gas density, air=1)	1.53
물 용해도 (Solubility in Water, 21℃)	0.14% by weight
물/옥탄올 분배계수	해당안됨
인화점 (Autoignition temperature)	해당안됨
폭발범위 (Explosive range in air)	해당안됨
색깔 (Color)	무색
냄새 (Odor)	무취
노출기준 (산업안전보건법)	TWA 5,000ppm, STEL 30,000ppm
독성정보	-

이산화탄소의 가스밀도는 공기보다 다소 무거우므로 이산화탄소가 발생되는

지점에서는 공기가 정체되어 있는 경우, 고농도의 이산화탄소 구름이 형성될 수 있다. 개방된 공간에서는 대류와 확산에 의해 쉽게 흩어지기도 하지만 기온이 낮고 밀폐된 공간에서는 이산화탄소가 정체될 가능성도 있다. 이산화탄소는 인화성 또는 폭발성이 없고 정상 환경에서는 화재에 조연 역할을 하지 않는다. 이산화탄소는 색이 없으므로 눈에 보이지 않아 그 존재를 인지하지 못하게 된다.

이산화탄소는 순수한 물에 다소 용해될 수 있는데 이는 일산화탄소보다는 용해도가 높고 황화수소보다는 낮은 수준이다. 이산화탄소는 물에 용존되어 탄산이 되어 약한 산성을 띄게 되는데 압력을 높이고 온도를 낮추면 용해도가 더 높아지게 된다. 그러나 압력이 약해지고 온도가 올라가면 용존되었던 이산화탄소가 방출되고 또한 알칼리 용액에서는 pH가 낮아질 때 이산화탄소를 다량 방출하게 된다.

2) 이산화탄소에 의한 건강장해

이산화탄소는 호흡의 신경학적 조절에 있어 호흡 자극제 역할을 하는데 일정 농도에서는 대뇌혈류 흐름과 국소적으로 혈관확장을 조절하는 역할을 하지만 고농도의 이산화탄소에 노출되면 호흡과 중추신경을 흥분시켜 마취효과, 호흡 저지, 질식 등을 유발할 수 있다. 노출시간과 농도에 따른 인체 반응 효과는 <표 III-11>과 같다.

건강한 사람이 농도 1.5 % 이상의 이산화탄소를 흡입하면 가벼운 대사 장해를 일으키기 시작하는데 혈압 또는 맥박이 상승하거나 약한 마취감을 느끼게 되고 7~10 %에서는 호흡량이 증가하여 두통, 무력감, 어지러움의 증상에서 심장박동 증가, 집중곤란 증상에서 짧으면 몇분 이내에 의식을 잃기도 한다. 11 %의 이산화탄소 농도에서는 1분 이내 의식을 잃고 30 %의 이산화탄소 농도에서는 25초에 의식을 잃게 된다

〈표 III-11〉 이산화탄소 물리화학적 특성

인체반응	이산화탄소 농도 (ppm)
정상농도	350
폐포기실 (Alveolar airspace)	53,000
감지하는 최소농도	5,500 (5시간)
측정 필요 농도	15,000 (장기간)
약한 증상 (혈압·맥박 상승, 약한 마취 등)	30,000
호흡량 증가 (약 2배)	40,000
호흡량 재증가	50,000
두통, 무력감, 어지러움	75,000 (7~15분)
심장박동 증가, 혈압 증가, 짧은 숨, 기억력 감퇴, 집중곤란, 광선공포증(Photophobia)	76,000
의식불명	110,000 (1분미만) 300,000 (25초)

미국 국립산업안전보건연구원에서는 이산화탄소에 대한 노출수준을 다음과 같이 권고하고 있다.

〈표 III-12〉 이산화탄소 노출기준

노출 기준	이산화탄소 농도 (ppm)
8시간 시간가중 허용농도 (Threshold Limit Value_Time Weighted Average)	5,000
단시간 노출 허용농도 (Threshold Limit Value_Short Term Exposure Limit)	30,000
8시간 시간가중 권고농도 (Recommended Exposure Limit_Time Weighted Average)	5,000
단시간 노출 권고농도 (Recommended Exposure Limit_Short Term Exposure Limit)	30,000
즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도 (Immediately Dangerous to Life and Health)	50,000

5. 휘발성유기화합물(VOC)

밀폐공간 출입 시 휘발성 유기화합물에 의한 유해성은 가장 간과하기 쉬운 부분이다. 환경오염물질 중 휘발성이 강한 물질을 휘발성유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)이라고 하는데 휘발성유기화합물의 가장 큰 특성은 상온에서 쉽게 휘발된다는 것으로 우리 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있는 용제류인 시너, 리무버, 가솔린, 디젤, 난방유 등을 통해 공기 중에 존재할 수 있다.

일반적으로 화학물질과 페인트를 제조하는 저장용기, 폐화학물질 운반차량의 저장 탱크와 지하작업장의 도장작업 시 주로 유기용제에 노출이 되는데 질식 재해 예방을 위한 작업 전 유해가스 농도 측정시 기본적인 산소, 황화수소, 일산화탄소, 폭발하한값의 측정은 이루어지나 휘발성 유기화합물에 대한 측정은 간과되기 쉽다.

세계보건기구(WHO)에서는 VOCs의 종류가 약 700여 가지이며 그 중에 발암성물질, 변이원성 물질 등 많은 유독물이 포함되어 있다고 보고한 바 있다. 이 중에서 현재까지 측정 및 검출된 바 있는 VOCs는 약 300여종이고 약 70여 종에 대하여 미국 환경보호청과 미국 국립과학아카데미에서 평가한 결과 인체 건강과 관련하여 우선적으로 고려해야 할 물질로 30여종을 선정하였으며 매년 그 항목수를 늘려가고 있다. (김미경, 2000_VOCs 측정 및 VOCs가 인체에 미치는 영향)

주요 독성이 있는 휘발성 유기화합물을 살펴보면 <표 Ⅲ-13>과 같다.

〈표 III-13〉 휘발성 유기화합물의 위험성 구분

구분	VOCs	Cas No	분자량	bp	노출기준 (ppm)	IDLH (ppm)
Human Carcinogen 발암성물질(A)	벤젠(Benzene)	71-43-2	78.11	80	0.1	500
	Vinyl Chloride	75-01-4	62.50	-13.4	1	-
	1,2-dichloroethane	107-06-2	98.96	83	1	50
	Carbon tetrachloride	56-23-5	153.82	76.6	2	200
Probable Human Carcinogen 발암우려물질 (B)	Trichloroethylene	79-01-6	131.39	86.7	100	1000
	Tetrachloroethylene	79-01-6	165.83	121	100	150
	Dichloromethane	75-09-2	84.93	40	25	2300
	Chloroform	67-66-3	119.38	61	50	500
	Bromoform	75-25-2	252.75	150	0.5	850
	Bromodichloromethane	75-27-4	163.82	87	-	-
	1,1-dichloroethane	75-34-3	98.96	57.3	100	3000
Possible human Carcinogen 발암가능물질 (C)	1,1-dichloroethylene	75-35-4	96.94	31.6	-	-
	1,1,2-trichloroethane	79-00-5	133.41	114	10	100
	1,1,1,2-tetrachloroethane	630-20-6	167.85	138	-	-
	1,1,2,2-tetrachloroethane	79-34-5	167.85	146.5	1	100-
	Dibromochloromethane	124-48-1	163.83	-	-	-
Not classifiable as to human carcinogen(D) 발암성으로 분류되지않은 물질	Chlorobenzene	108-90-7	112.56	132	75	1000
	1,2-dichlorobenzene	95-50-1	147.00	180	0.1	-
	Ethylbenzene	100-41-4	106.17	136	100	800
	1,1,1-trichloroethane	71-55-6	133.41	74.1	350	700
	Toluene	108-88-3	92.14	110.6	100	500

* 노출기준 : NIOSH Recommended Exposure Limit

* IDLH : NIOSH Immediately Dangerous to Life and Health

이러한 물질들은 하수관로, 하수처리장, 석유정제업, 제지업 등에서 쉽게 노출될 수 있는데 하수 슬러지에 일반적으로 일반적으로 독성이 있는 휘발성 유기 화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)을 포함하고 있을 수 있다. VOCs는 석유류와 유기용제의 사용 중 빈번히 하수로 유입되거나 일부 화합물은 하수처리공정에서 생성될 수도 있다. 우리나라 대다수 도시의 하수관거 대부분이 우수와 오수가 함께 흐르는 합류식 관거로 구성되어 있으며 비가 올 경우 대기에 배출된 VOCs는 빗물과 함께 하수처리장으로 유입되는 것으로 생각된다.

이상에서 검토된 주요 물질의 IDLH 및 위험농도를 정리하면 다음의 표와 같다.

〈표 Ⅲ-14〉 주요 물질의 위험농도

물질명	위험농도 1	위험농도 2
산 소	의식불명 : <10 %	수분 후 사망 : <6 %
황화수소	IDLH : 300 ppm	LC ₅₀ : 952 ppm
일산화탄소	IDLH : 1,500 ppm	LC ₅₀ : 5,207 ppm
이산화탄소	IDLH : 5 %	의식불명 : 11 %/1분

※ IDLH : 즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도(Immediately Dangerous to Life and Health)

IV. 물질별 유해가스 발생 실험

1. 실험방법

맨홀, 오폐수처리장, 음식료품 저장조 등과 같이 국내에서 질식재해가 다발하는 작업장에서 질식재해를 일으켰던 가스의 종류를 알아내고 시간경과에 따른 농도변화 수준 평가를 통해 작업종류별 질식재해 예방대책을 마련하기 위하여 물질별 유해가스 발생 실험을 실시하였다.

유해가스 발생 실험은 여러 개의 밀폐용기에 다양한 종류의 물질을 저장한 후 일정기간별로 가스의 발생농도를 측정하는 방식으로 진행되었다. 밀폐용기는 시중에서 사용되는 생수용기(18.6ℓ)를 구입한 후 용기의 입구에 가스 측정 호스를 투입할 수 있는 밸브를 설치하였으며, 가스농도 측정시에만 밸브를 개방하고 저장시에는 밸브를 잠근 상태를 유지하였다.

밀폐용기 내부에는 백태, 단무지, 오이피클, 양조간장, 양조식초, 식용유, 오수수, 목재, 고철 바나나 등 10종의 대상물질을 별개의 용기내에 투입하여 식료품 제조 사업장, 식료품 저장소, 목재 운반선, 바지선, 오폐수 처리장 등의 공정에 대한 조사 및 실험을 대신할 수 있도록 하였다. 시험물질이 액체인 경우는 2ℓ, 고체인 경우는 2kg씩을 용기내에 투입하여 저장하였다.

밀폐용기는 8주간 보관하면서 매주 용기내부 발생가스의 농도를 측정하였는데 연구진의 타 출장업무 수행으로 인하여 5주차에는 측정을 수행하지 못하였으며 8주차까지 7회 가스농도를 측정하였다. 밀폐용기의 보관 후 1주차~8주차 기간에 산소(O_2), 일산화탄소(CO), 황화수소(H_2S), 가연성가스(LEL, %), 휘발성 유기화합물(VOC) 등 5종의 가스농도를 측정하여 시간에 따른 농도 변화를 관찰하였다. 황화수소 측정센서의 이상으로 4주차에는 황화수소 농도를 측정하지 못하였다.

밀폐용기는 연구원 안전검인증센터 건물내 산업환기실험실에 상온에서 보관

하였으며, 매 회 실험시 마다 실내 온도를 측정하였다.

<표 IV-1> 유해가스 발생실험에 사용된 물질

물질명	대체공정	저장량
백태	저장 싸이로	2kg
단무지	단무지 제조업	2kg
오이피클	오이피클 제조업	2kg
양조간장	간장 제조업	2ℓ
양조식초	식초 제조업	2ℓ
식용유	식용유 제조업	2ℓ
오수	맨홀, 오폐수처리장	2ℓ
목재	저장용기	2kg
고철	바지선 저장탱크	2kg
바나나	저장용기	2kg

가스농도 측정장치는 미국 RAE Systems 사의 Multi RAE로 산소농도, 황화수소, 가연성가스(메탄가스), 휘발성유기화합물, 일산화탄소, 염소, 시안화수소, 암모니아, 포스핀 등 다양한 종류의 가스농도를 측정하였으며 측정기에 송신기, 수신기, 중앙처리장치 등을 연결하여 측정자료를 컴퓨터로 자동 저장될 수 있도록 하였다.

가스농도 측정기는 내부에 펌프시료공기를 흡입할 수 있는 펌프가 내장된 능동식 측정방식이었으며, 시료공기의 흡입량은 400 ml/min 이었고, 저장물질별 측정시간은 측정수치가 안정화되는 시간으로 하되 최소 1분 이상으로 하였다. 또한 측정자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 매회 가스농도를 측정하기 전에 교정가스를 이용하여 측정기의 교정을 실시하였다

〈표 IV-2〉 가스농도 측정장치 구성 현황

구성 제품명	제조사	모델명
가스농도 측정기		SentryRAE
가스농도 측정기	RAE Systems	MultiRAE Plus
송신기	"	
수신기	"	
중앙처리장치	삼성전자	SENS Q45
통신 프로그램	RAE Systems	ProRAE Remote v3.0

〈표 V-3〉 측정가스

연번	종 류	측정범위	분해능	응답시간
1	O ₂	0~30 % 또는 그 이상	0.1 % 이하	15초 이내
2	가연성(LEL)	0~100 %	1 % 이하	15초 이내
3	VOC	0~200 ppm	0.1 ppm 이하	10초 이내
		200~2,000 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	10초 이내
4	CO	0~500 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	20초 이내
5	H ₂ S	0~100 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	30초 이내



[그림 IV-1] 밀폐공간 별 저장물질



[그림 IV-2] 밀폐공간 내 저장물질 발생가스 측정

2. 실험결과

1) 발생가스 기준 실험결과 분석

가) 산소농도

대부분의 물질에서 시간이 경과함에 따라 산소농도는 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며, 특히 바나나의 경우는 1주부터 거의 무산소 상태를 나타내었고, 목재는 2주부터 무산소상태가 되었다. 또한 단무지는 3주차부터 급격히 감소하기 시작하여 6주부터 무산소 상태가 되었다. 하수는 3주차부터, 양조간장은 6주차부터 산소농도가 18 % 미만으로 낮아졌다. 백태, 오이피클, 양조식초, 식용유, 고철 등을 저장한 밀폐용기는 시간이 경과함에 따라 산소농도가 약간씩 낮아지긴 했으나 8주차에도 18 % 이상을 유지하였다.

일반적으로 공기 중의 산소를 소비하는 원인으로는 ① 물질의 산화, ② 미생물의 호흡작용, ③ 식물, 곡물, 목재 등의 호흡작용, ④ 기타 등으로 알려져 있다.

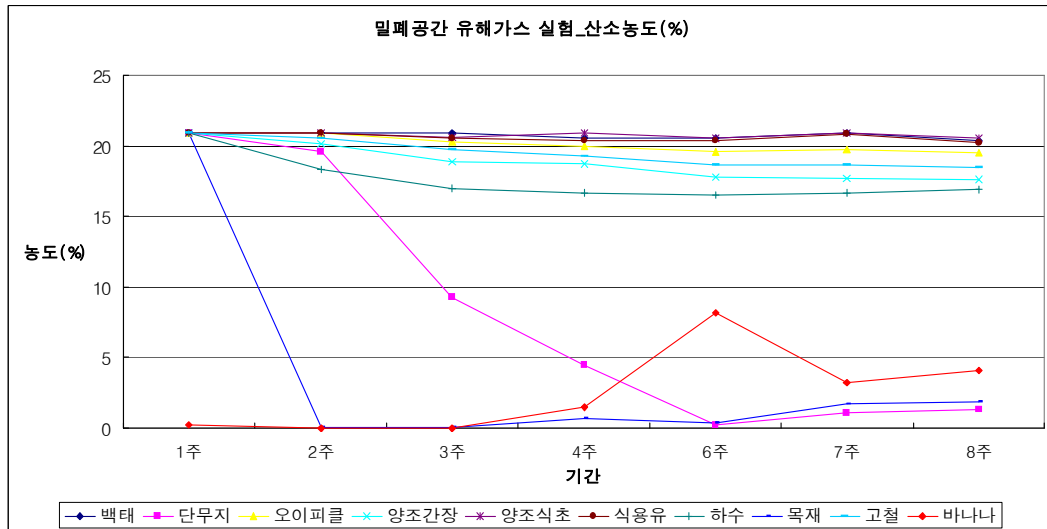
미생물의 산소 소비량을 비교하여 보면, 생체 1 kg(수분제외)이 30 ℃ 부근에서 1시간에 소비하는 산소의 양은 다음의 표에서 보는 바와 같이 사람의 몇배로부터 최고 600배까지이다. 이런 점을 이용하여 발효식품, 의약품(페니실린, 스트렙토마이신)의 제조와 폐기물(하수, 분뇨, 매립쓰레기) 처리를 하고 있다.

<표 IV-4> 생체의 산소 소비량

생 체	생체 1 kg당 산소 소비량(ml)
사 략	200
원생동물(Paramecium)	500
사상균(Iusarium)	10,000
조 류(Chlorella)	40,000
세 균(Azotobacter)	1,200,000

<표 IV-5> 저장물질별 산소 농도 변화현황

구분	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
백태	20.9	20.9	20.9	20.5	20.5	20.9	20.4
단무지	20.9	19.6	9.3	4.5	0.2	1.1	1.3
오이피클	20.9	20.9	20.3	20.0	19.6	19.7	19.5
양조간장	20.9	20.1	18.9	18.7	17.8	17.7	17.6
양조식초	20.9	20.9	20.6	20.9	20.5	20.9	20.5
식용유	20.9	20.9	20.5	20.4	20.4	20.8	20.2
오수	20.9	18.3	17.0	16.7	16.5	16.7	16.9
목재	20.9	0.1	0.1	0.7	0.4	1.7	1.9
고철	20.9	20.5	19.7	19.3	18.6	18.6	18.5
바나나	0.2	0.0	0.0	1.5	8.2	3.2	4.1



[그림 IV-3] 저장물질별 산소농도 변화현황

나) 일산화탄소

밀폐공간내 저장물질별 일산화탄소의 농도변화를 살펴보면 대부분 시간이 지남에 따라 서서히 증가하는 추세를 나타내었다. 백태의 경우 1, 2주에는 0 ppm이었으나 3주부터 54.7 ppm 농도를 나타내기 시작하여 7주에 135 ppm 까지 증가하였고, 오이피클 또한 1, 2주에는 0 ppm이었으나 3주부터 38 ppm 농도를 나타내기 시작하여 7주에 131 ppm까지 증가하였다. 양조간장은 2주차에 51.5 ppm을 시작으로 계속 증가하여 270 ppm까지 증가하였다.

바나나의 경우는 밀폐용기내 보관 1주차부터 1,000ppm을 넘어 측정기 센서의 측정범위를 초과하여 나타났고 이후 8주까지 계속 1,000 ppm이상의 높은 농도를 나타내었다. 바나나는 10종의 저장물질 중에서도 가장 높은 농도를 나타내었다.

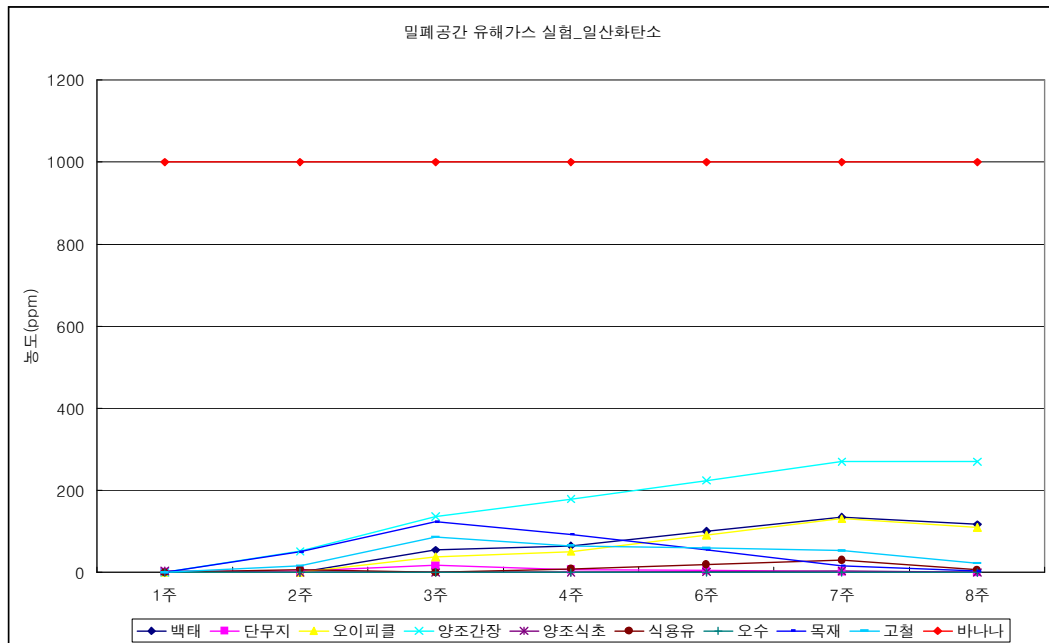
목재의 경우 1주차에는 일산화탄소가 발생하지 않았으나 2주차에 49.8 ppm이 발생한 이후 3주차에 123 ppm으로 최고 농도를 나타내었으며, 그

후 계속 감소하다가 8주차에는 3 ppm으로 낮은 농도를 나타내었다. 고철을 담은 밀폐용기 역시 목재와 유사한 농도변화의 경향을 보였는데 3주차에 86 ppm으로 최고 농도를 보이다가 점차 농도가 감소하여 8주차에는 22 ppm의 농도를 보였다. 즉, 고철은 목재보다 일산화탄소 최고농도는 낮지만 시간이 장기간 경과함에 따른 농도 감소율은 목재가 고철보다 높은 것으로 나타났다.

<표 IV-6> 저장물질별 일산화탄소 농도 변화현황

구분	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
백태	0.0	0.0	54.7	65.1	100.1	135.0	117.0
단무지	1.5	3.2	17.0	7.0	4.8	2.5	0.0
오이피클	0.0	0.0	38.0	50.9	91.0	131.0	110.0
양조간장	0.0	51.5	136.0	178.7	224.4	270.0	270.0
양조식초	3.3	0.0	0.0	0.0	1.9	3.8	0.0
식용유	0.0	7.2	0.0	9.0	19.5	30.0	6.0
오수	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
목재	0.0	49.8	123.0	93.1	54.9	16.6	3.0
고철	0.0	16.2	86.6	64.9	59.0	53.0	22.0
바나나	1,000 ↑	1,000 ↑	1,000 ↑	1,000 ↑	1,000 ↑	1,000 ↑	1,000 ↑

양조식초와 오수의 경우 8주간의 저장기간 동안 일산화탄소가 거의 발생하지 않았으며, 단무지와 식용유에서는 일산화탄소가 발생하긴 하였으나 사업장에 대한 노출기준인 50 ppm보다 낮은 농도를 나타내었다.



[그림 IV-4] 저장물질별 일산화탄소 농도 변화현황

다) 휘발성유기화합물 (VOC)

휘발성 유기화합물은 물질 모두 뚜렷한 경향성을 보이지 못하고 변동이 매우 심한 양상을 보였다. 목재에서는 2주에 181 ppm으로 최고농도를 보인 후 기간이 경과함에 따라 농도가 감소하여 8주차에는 30.6 ppm의 농도를 보였으며, 단무지는 1, 2주에 28.2, 37.5 ppm을 나타내었다가 3주차에는 미검출되었으며 그 후 농도가 증가하면서 7주차에 45.9 ppm으로 최대농도를 보이다가 다시 농도가 감소하여 8주차에는 32.1 ppm을 나타내었다.

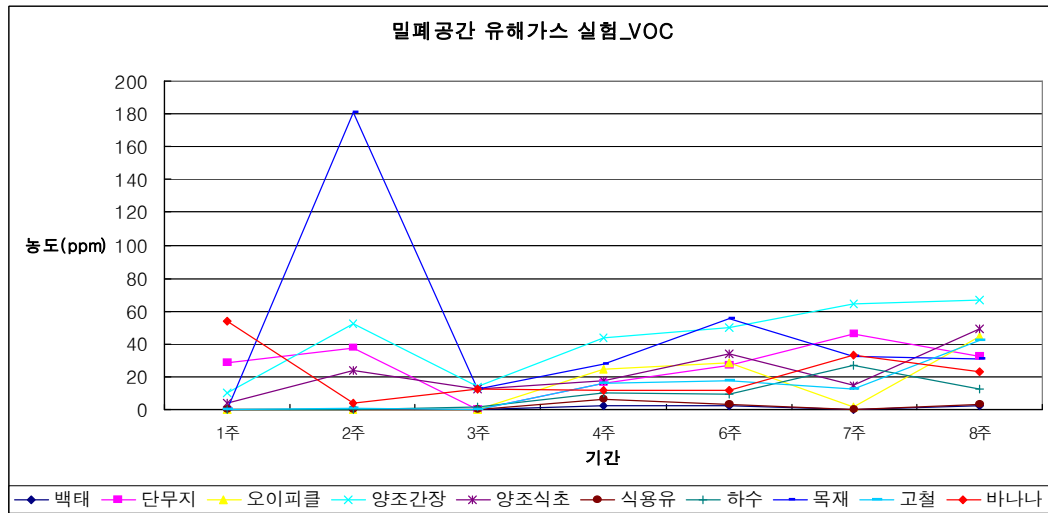
양조간장의 경우 3주차에는 2주차보다 낮은 농도를 보이다가 그후 계속하여 농도가 증가하였으며 8주차에는 67.0 ppm의 최대농도를 나타내었다. 바나나는 밀폐용기 저장 1주차에 최대농도인 53.3 ppm을 보인 후 농도의 변화를 보이다가 8주차에는 23.0 ppm의 농도를 보였다.

<표 IV-7> 저장물질별 휘발성유기화합물 농도 변화현황

구분	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
백태	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0	2.6
단무지	28.2	37.5	0.0	16.2	26.8	45.9	32.1
오이피클	0.0	0.0	0.0	24.8	28.0	1.6	44.4
양조간장	9.9	51.8	13.8	43.4	50.1	64.6	67.0
양조식초	3.8	23.6	11.9	17.8	33.5	14.6	48.8
식용유	0.0	0.0	0.0	6.0	2.7	0.0	2.8
오수	0.0	0.0	1.9	10.3	9.3	26.6	12.6
목재	0.0	181.2	12.0	27.7	55.4	32.3	30.6
고철	0.0	0.9	0.0	15.9	17.7	12.6	41.8
바나나	53.3	3.7	12.4	11.8	11.3	33	23.0

오이피클은 3주차까지 검출되지 않다가 4주차부터 농도가 점점 높아졌으며 7주차에는 1.6 ppm으로 낮은 농도를 보이다가 8주차에는 44.4 ppm으로 최고농도를 나타내었다. 고철 역시 3주차까지 미검출되거나 아주 낮은 농도를 보이다가 점점 증가하는 추세를 보였으며 8주차에는 41.8 ppm의 최고농도를 보였다.

양조식초는 8주 동안에 저농도와 고농도를 반복하다가 8주차에는 48.8 ppm으로 최고농도를 나타내었다. 오수의 경우 7주차에 26.6 ppm으로 최고농도를 보였으며 그 외 기간에는 저농도와 고농도를 반복하였다. 백태와 식용유에서는 저장 전 기간 동안 최고농도가 각각 2.6 ppm 및 6.0 ppm으로서 타 물질에 비하여 매우 낮은 농도를 나타내었다.



[그림 IV-5] 저장물질별 휘발성유기화합물 농도 변화현황

라) 황화수소

황화수소는 사업장 노출기준이 10 ppm인데 단무지와 목재에서만 노출 기준을 초과하는 농도를 나타내었다. 단무지의 경우 다른 가스에 비교했을 때 비교적 농도변화가 적은 현상을 보였으며 6주차에서 262. ppm으로 최고 농도를 보였다. 목재는 2주차에 197. ppm의 최고농도를 보이다가 3주차에 3.4 ppm으로 농도가 감소한 후 주차 이후에는 전혀 검출되지 않았다.

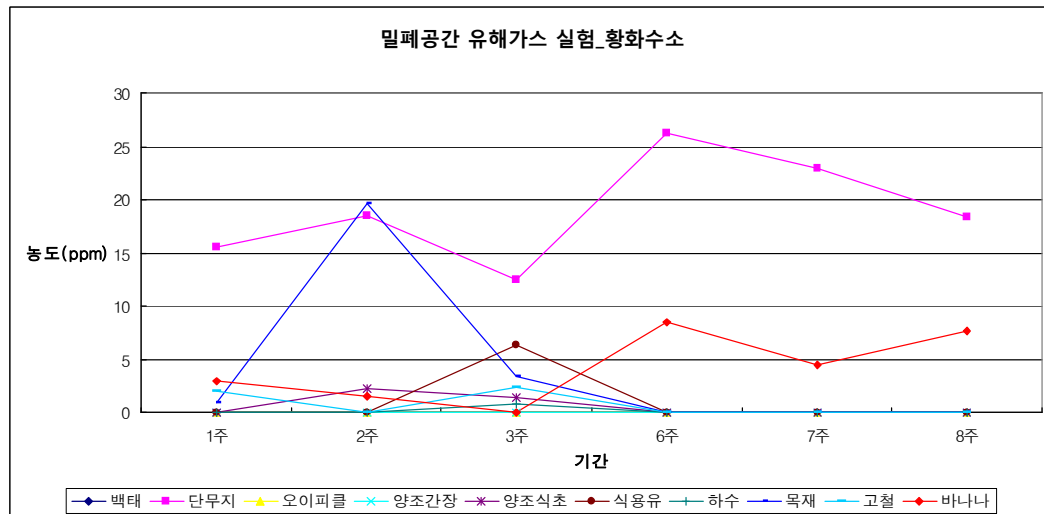
식용유는 3주차에 6.3 ppm을 보인 것 외의 기간에는 거의 검출되지 않았다. 바나나의 경우 1, 2주차에 낮은 농도를 보인 후 3, 4 주차에 미검출되었다가 6~8주차에 4.5~8.5 ppm의 농도를 보였다.

백태, 오이피클, 양조간장, 양조식초, 오수, 고철 등에서는 황화수소가 거의 검출되지 않거나 5 ppm 미만의 낮은 농도를 간헐적으로 나타내었다.

황화수소 측정센서의 이상으로 4주차에는 황화수소 농도를 측정하지 못하였다.

<표 IV-8> 저장물질별 황화수소 농도 변화현황

구분	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
백태	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
단무지	15.5	18.5	12.5	-	26.2	22.9	18.3
오이피클	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
양조간장	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
양조식초	0.0	2.2	1.4	-	0.0	0.0	0.0
식용유	0.0	0.0	6.3	-	0.0	0.0	0.0
오수	0.0	0.0	0.8	-	0.0	0.0	0.0
목재	1.0	19.7	3.4	-	0.0	0.0	0.0
고철	2.0	0.0	2.3	-	0.0	0.0	0.0
바나나	2.9	1.5	0.0	-	8.5	4.5	7.6

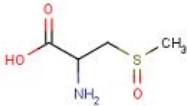
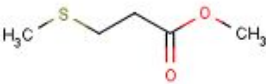
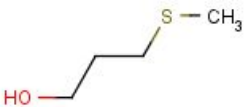
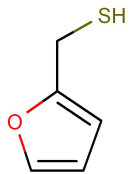


[그림 IV-6] 저장물질별 황화수소 농도 변화현황

일반적으로 알려진 황화합물이 포함된 식품의 종류 및 황화합물의 종류는

다음의 표와 같다.

<표 IV-9> 식품에 함유된 황화합물의 종류

화합물의 명칭	구 조 식	소 재
Methyl mercaptane (CAS No. : 74-93-1)	CH_3SH	무
Propyl mercaptane (CAS No. : 107-03-9)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SH}$	양파
Dimethyl mercaptane	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{SCH}_3)_2$	단무지
S-methylcysteine sulfoxide (CAS No. : 4740-94-7)		양배추, 순무
Methyl β -methylmercaptopyonate (CAS No. : 13532-18-1)		파인애플
β -methylmercaptopropylalcohol (CAS No. : 505-10-2)		간장
Furfuryl mercaptane (CAS No. : 98-02-2)		커피
Alkylisothiocyanate	$\text{R-N}=\text{C}=\text{S}$	무, 고추냉이
Alkyl sulfide	R-S-R'	겨자, 파, 마늘, 양파, 무, 고추냉이

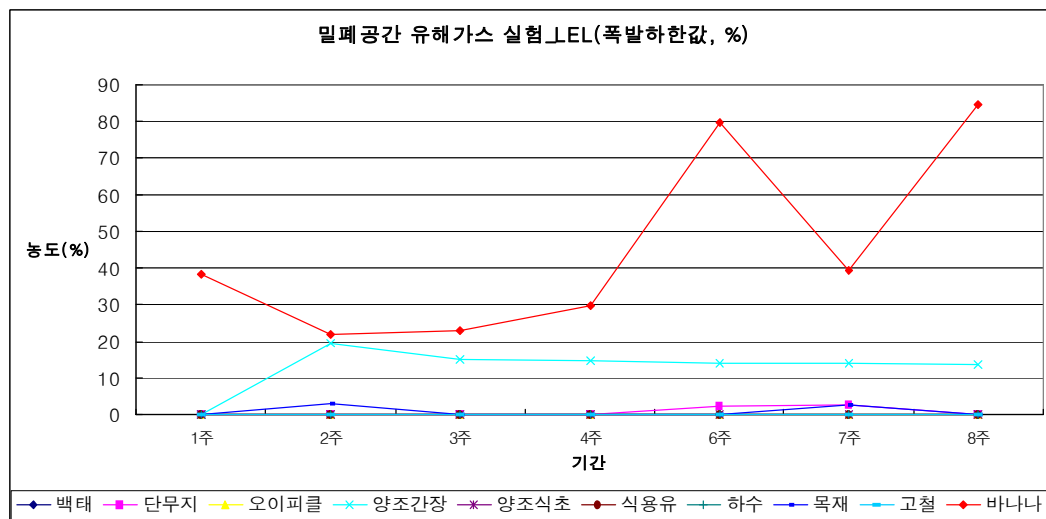
마) 가연성가스 (LEL, %)

폭발하한값은 양조간장에서 최대 19.5 %, 바나나에서 최대 84.4 %의 농도를 보였는데, 양조간장은 2주차에서 최고농도를 보였으며 바나나는 8주차에서 최고농도를 보였다. 그 외 물질의 밀폐용기에서는 폭발하한값이 0 %

또는 5 % 이하의 값을 나타내었다.

<표 IV-10> 저장물질별 폭발하한값 농도 변화현황

구분	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
백태	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
단무지	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.7	0.0
오이피클	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
양조간장	0.0	19.5	15.1	14.6	14.2	14.2	13.8
양조식초	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
식용유	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
하수	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
목재	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
고철	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
바나나	38.2	21.9	22.8	29.8	79.9	39.2	84.4



[그림 IV-7] 저장물질별 폭발하한값 농도 변화현황

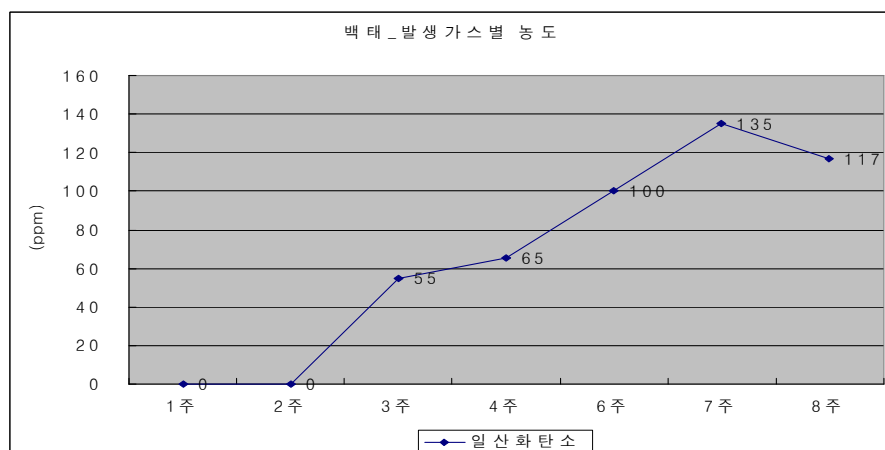
2) 물질 기준 실험결과 분석

가) 백태

백태를 저장한 용기는 일산화탄소의 농도가 3주차에서 54.7 ppm으로 발생한 이후 점차로 그 농도가 증가하여 7주차에 135 ppm으로 최고농도를 기록하였다. 산소농도는 8주간 20 % 이상을 유지하였으며, 휘발성유기화합물은 4,6,8주차에 2.1~2.6 ppm을 나타내었으며, 황화수소와 가연성가스는 발생하지 않았다. 황화수소 측정센서의 이상으로 4주차에는 모든 물질에서 황화수소 농도를 측정하지 못하였다.

<표 IV-11> 백태 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	20.9	20.9	20.5	20.5	20.9	20.4
일산화탄소	0.0	0.0	54.7	65.1	100.1	135.0	117.0
황화수소	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
VOC	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0	2.6
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



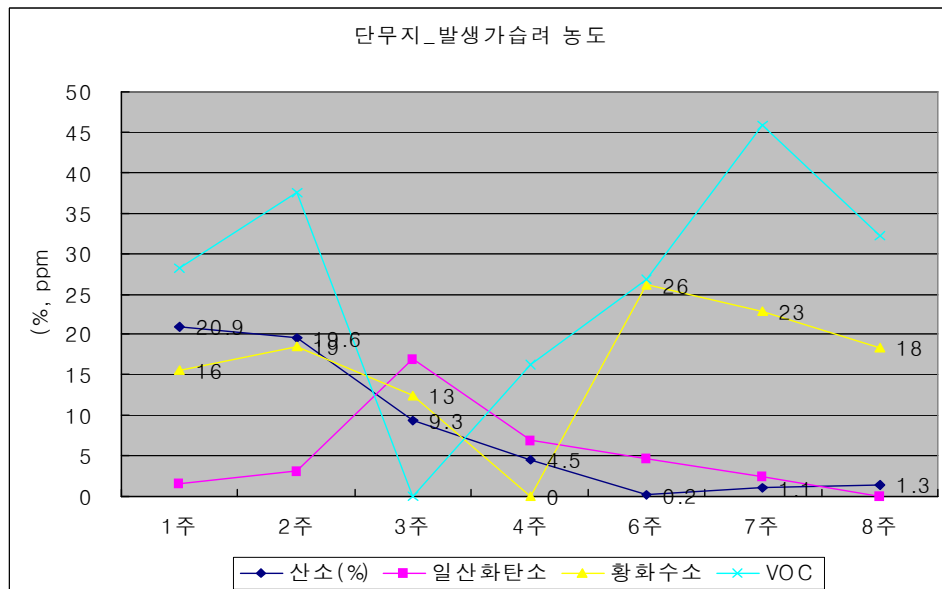
[그림 IV-8] 백태 저장용기 발생가스 농도

나) 단무지

단무지 저장용기의 산소농도가 3주차에 9.3 %로 급격히 감소한 이후 지속적으로 감소하여 6주차 이후에는 2 % 이하로서 거의 무산소상태가 형성되었다. 황화수소는 12.5 % ~ 26.2 %를 나타내었다.

<표 IV-12> 단무지 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	19.6	9.3	4.5	0.2	1.1	1.3
일산화탄소	1.5	3.2	17.0	7.0	4.8	2.5	0.0
황화수소	15.5	18.5	12.5	-	26.2	22.9	18.3
VOC	28.2	37.5	0.0	16.2	26.8	45.9	32.1
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.7	0.0



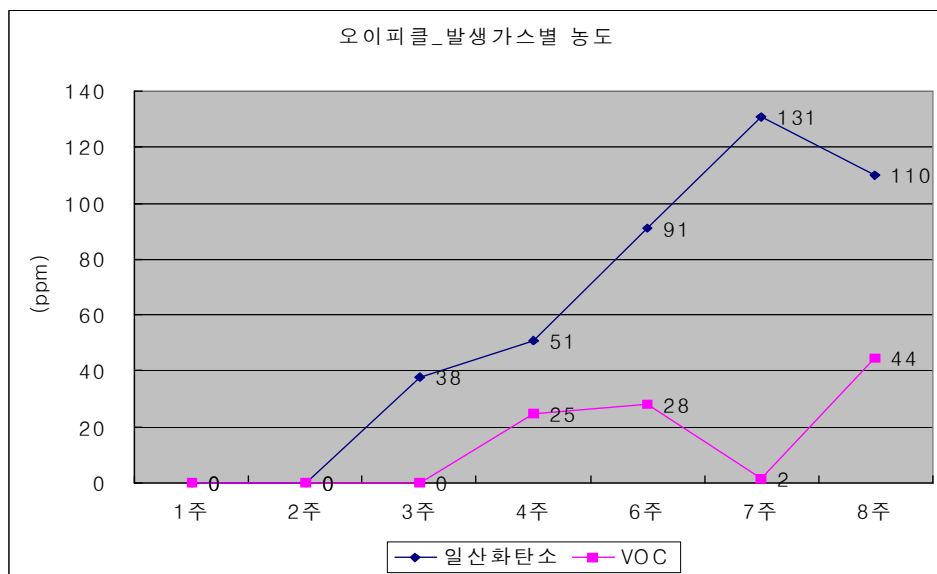
[그림 IV-9] 단무지 저장용기 발생가스 농도

다) 오이피클

오이피클을 저장한 용기에서는 3주차에 일산화탄소가 38 ppm 발생한 이후 점차 증가하여 7주차에는 131 ppm을 나타내었다. 산소농도는 계속 19% 이상을 유지하였으며, 휘발성유기화합물이 8주차에 44.4 ppm으로 최고를 기록하였고, 황화수소와 가연성가스는 발생하지 않았다.

<표 IV-13> 오이피클 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	20.9	20.3	20.0	19.6	19.7	19.5
일산화탄소	0.0	0.0	38.0	50.9	91.0	131.0	110.0
황화수소	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
VOC	0.0	0.0	0.0	24.8	28.0	1.6	44.4
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



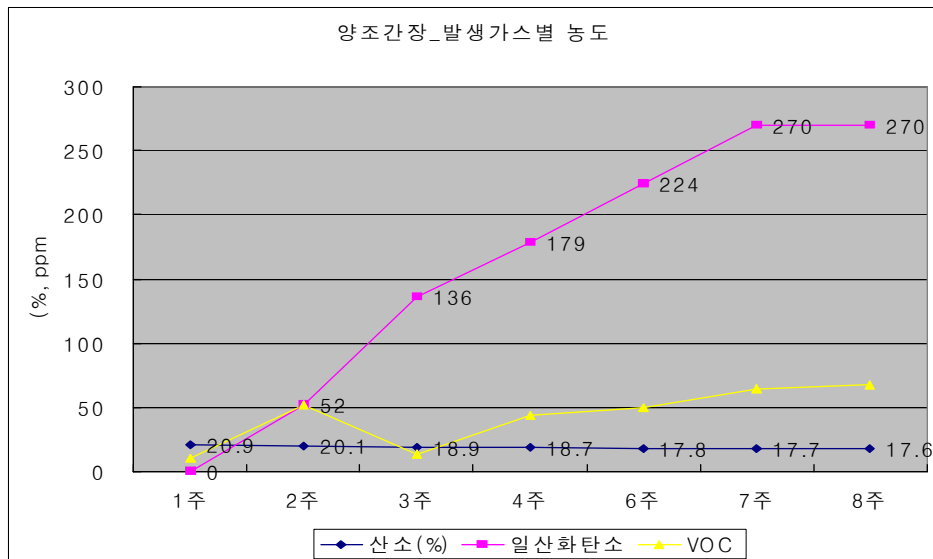
[그림 IV-10] 오이피클 저장용기 발생가스 농도

라) 양조간장

양조간장 저장용기는 6주차부터 산소농도가 18 % 미만으로 감소하였다. 일산화탄소 농도는 2주차에 51.5 ppm 발생한 이후 계속 농도가 증가하여 7,8주차에는 270 ppm을 기록하였다. 휘발성유기화합물 농도는 8주차에 최고치 67 ppm을 기록하였으며, 가연성 가스의 LEL은 14.2 %가 최고치였다. 8주 동안 황화수소는 발생하지 않았다.

<표 IV-14> 양조간장 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	20.1	18.9	18.7	17.8	17.7	17.6
일산화탄소	0.0	51.5	136.0	178.7	224.4	270.0	270.0
황화수소	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
VOC	9.9	51.8	13.8	43.4	50.1	64.6	67.0
가연성가스	0.0	19.5	15.1	14.6	14.2	14.2	13.8



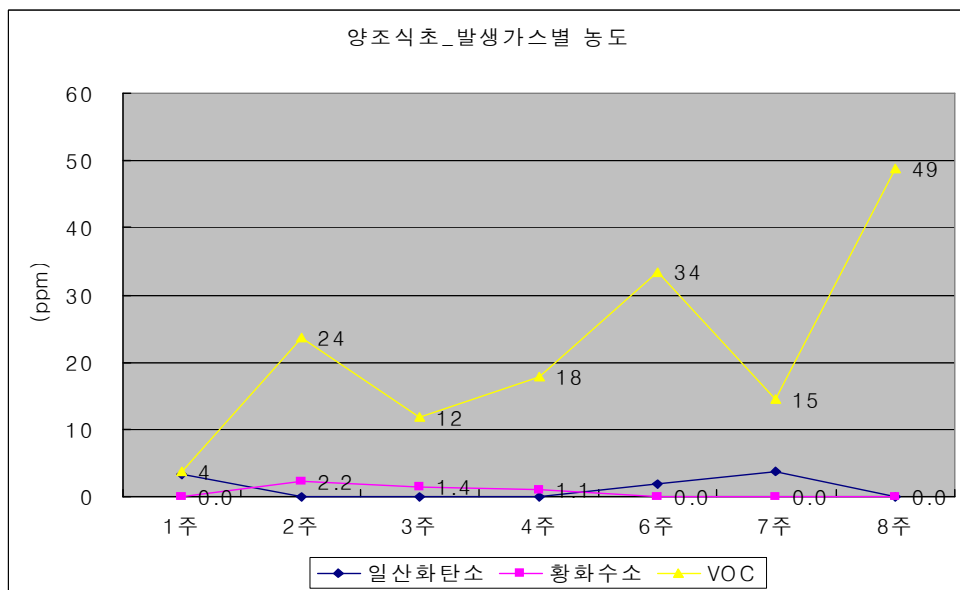
[그림 IV-11] 양조간장 저장용기 발생가스 농도

마) 양조식초

양조식초 저장용기는 휘발성유기화합물이 8주차에 48.8 ppm을 기록하였으며, 일산화탄소가 최대 3.8 ppm, 황화수소가 최대 2.2 ppm이 발생하였다. 산소농도는 저장기간 동안 20 % 이상을 유지하였으며 가연성가스는 발생하지 않았다.

<표 IV-15> 양조식초 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	20.9	20.6	20.9	20.5	20.9	20.5
일산화탄소	3.3	0.0	0.0	0.0	1.9	3.8	0.0
황화수소	0.0	2.2	1.4	-	0.0	0.0	0.0
VOC	3.8	23.6	11.9	17.8	33.5	14.6	48.8
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



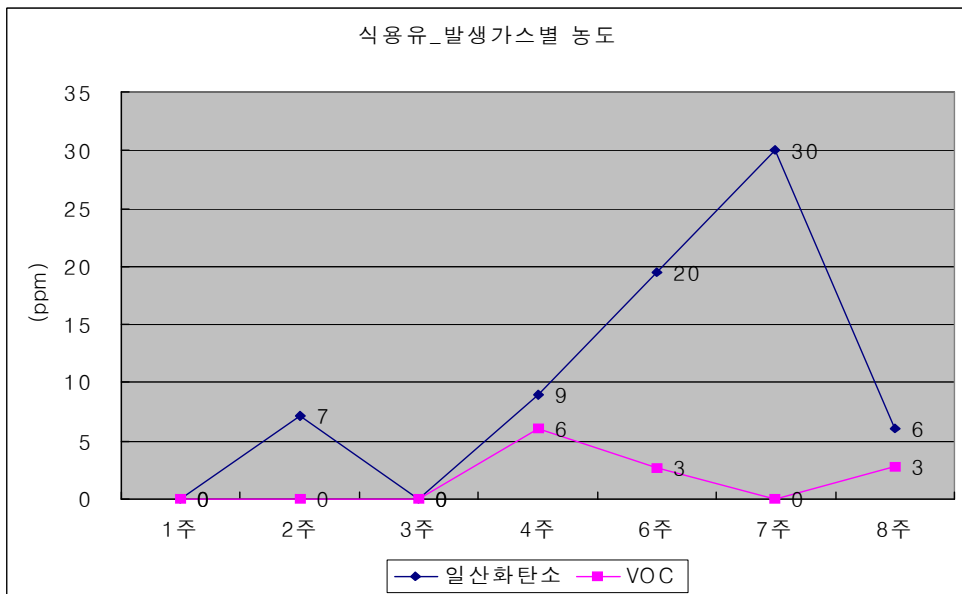
[그림 IV-12] 양조식초 저장용기 발생가스 농도

바) 식용유

식용유 저장용기에서는 7주차에 일산화탄소 농도가 30 ppm으로서 최고치였으며, 황화수소가 3주차에 6.3 ppm 발생하였다. 휘발성유기화합물은 4주차에 6 ppm을 기록하였으며, 산소는 저장기간 동안 20 % 이상을 유지하였고 가연성가스는 발생하지 않았다.

<표 IV-16> 식용유 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	20.9	20.5	20.4	20.4	20.8	20.2
일산화탄소	0.0	7.2	0.0	9.0	19.5	30.0	6.0
황화수소	0.0	0.0	6.3	0.9	0.0	0.0	0.0
VOC	0.0	0.0	0.0	6.0	2.7	0.0	2.8
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



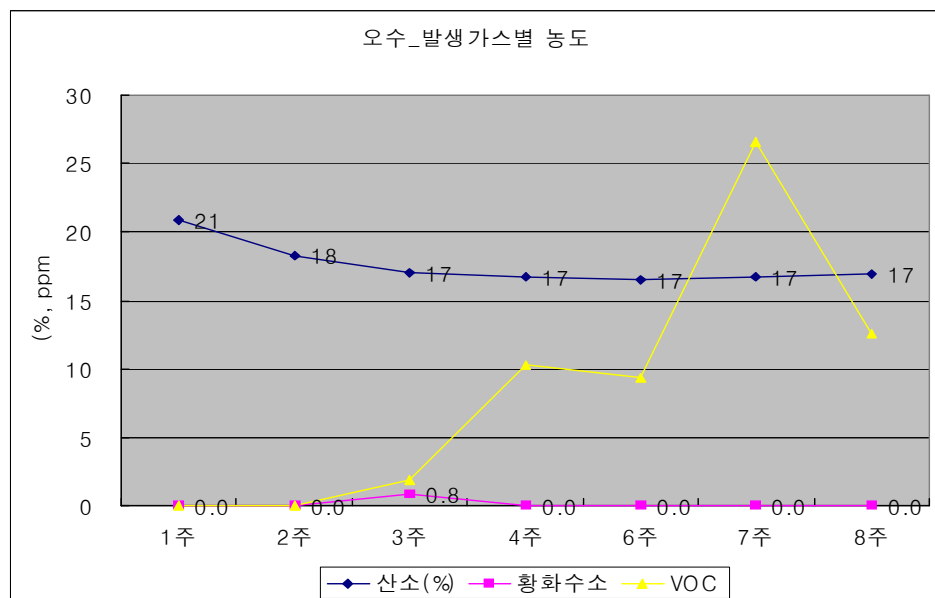
[그림 IV-13] 식용유 저장용기 발생가스 농도

사) 오수

오수 저장용기는 3주차부터 산소농도가 18 % 미만으로 감소하였다. 휘발성유기화합물이 7주차에 26.6 % 발생하였으며, 황화수소와 일산화탄소는 1 % 미만으로 거의 발생하지 않았고 가연성가스는 전혀 발생하지 않았다.

<표 IV-17> 오수 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	18.3	17.0	16.7	16.5	16.7	16.9
일산화탄소	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
황화수소	0.0	0.0	0.8	-	0.0	0.0	0.0
VOC	0.0	0.0	1.9	10.3	9.3	26.6	12.6
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



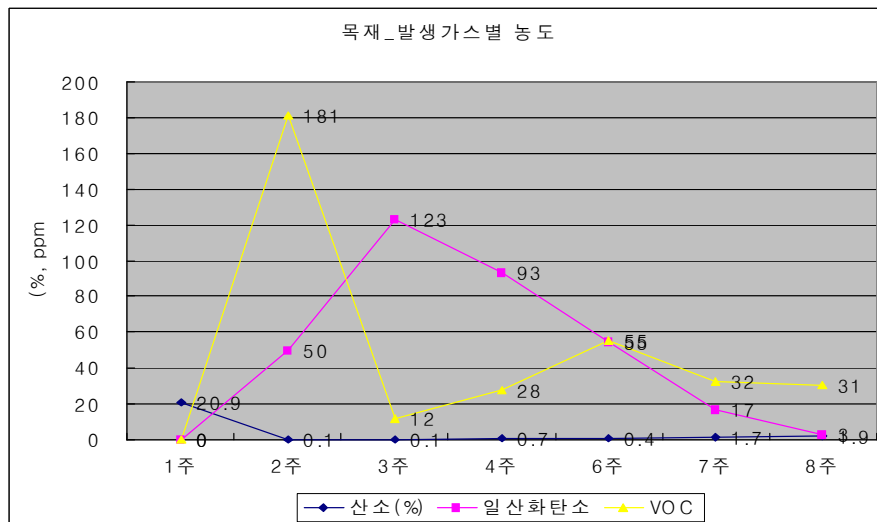
[그림 IV-14] 오수 저장용기 발생가스 농도

아) 목재

목재 저장용기는 2주차에 산소농도가 0.1 %로 감소하여 거의 무산소상태가 유지되었다. 일산화탄소 농도는 3주차에 123 ppm으로 최고치를 기록하다가 점점 감소하여 8주차에는 3 ppm을 나타내었다. 황화수소는 2주차에 19.7 ppm을 기록하였으며 4주차 이후에는 발생하지 않았다. 휘발성유기화합물은 2주차에 181 ppm으로 최고치를 기록하였고 가연성가스의 LEL은 3 ppm 미만을 나타내었다.

<표 IV-18> 목재 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	0.1	0.1	0.7	0.4	1.7	1.9
일산화탄소	0.0	49.8	123.0	93.1	54.9	16.6	3.0
황화수소	1.0	19.7	3.4	-	0.0	0.0	0.0
VOC	0.0	181.2	12.0	27.7	55.4	32.3	30.6
가연성가스	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0



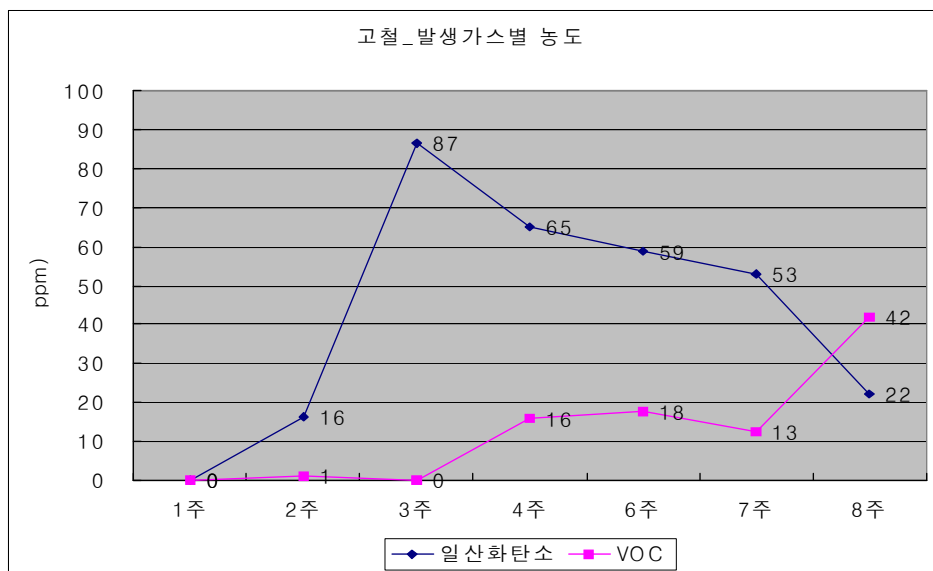
[그림 IV-15] 목재 저장용기 발생가스 농도

자) 고철

고철 저장용기는 3주차에 일산화탄소 농도가 86.6 ppm으로서 최고치를 기록하였고 휘발성유기화합물 농도는 9주차에 41.8 ppm으로서 최고를 기록하였으며 황화수소는 3주차에 2.3 ppm을 나타내었다. 산소농도는 저장기간 동안 18 % 이상을 유지하였고 가연성가스는 발생하지 않았다.

〈표 IV-19〉 고철 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	20.9	20.5	19.7	19.3	18.6	18.6	18.5
일산화탄소	0.0	16.2	86.6	64.9	59.0	53.0	22.0
황화수소	2.0	0.0	2.3	-	0.0	0.0	0.0
VOC	0.0	0.9	0.0	15.9	17.7	12.6	41.8
가연성가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



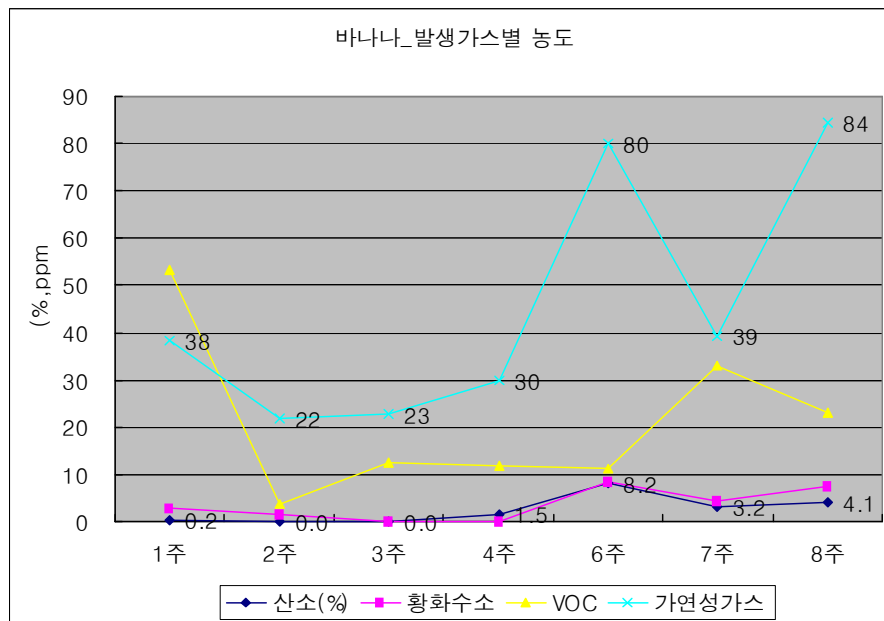
[그림 IV-16] 고철 저장용기 발생가스 농도

차) 바나나

바나나 저장용기는 1주차에 산소농도가 0.2 %를 기록하는 등 저장기간 동안 거의 무산소상태를 형성하였다. 일산화탄소는 1,000 ppm을 초과하여 측정기의 구현범위를 벗어났으며, 가연성가스는 6주차에 79.9 ppm을 기록하였다.

<표 IV-20> 바나나 저장용기 발생가스 농도

가스명	1주	2주	3주	4주	6주	7주	8주
산소(%)	0.2	0.0	0.0	1.5	8.2	3.2	4.1
일산화탄소	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0
황화수소	2.9	1.5	0.0	-	8.5	4.5	7.6
VOC	53.3	3.7	12.4	11.8	11.3	33.0	23.0
가연성가스	38.2	21.9	22.8	29.8	79.9	39.2	84.4



[그림 IV-17] 바나나 저장용기 발생가스 농도

카) 종합

이상의 밀폐용기 저장물질별 발생가스 실험을 종합하면 다음과 같다.

〈표 IV-21〉 저장물질별 주요 발생가스 농도

물질명	주요 발생가스별 농도(ppm, %)
백 태	일산화탄소(135)
단무지	산소(0.2 %), 황화수소(26.2)
오이피클	일산화탄소(110)
양조간장	산소(17.6 %), 일산화탄소(270), 휘발성유기화합물(67)
양조식초	휘발성유기화합물(48)
식용유	일산화탄소(30), 황화수소(6.3)
오 수	산소(16.5)
목 재	산소(0.1 %), 일산화탄소(123), 황화수소(19), 휘발성유기화합물(55)
고 철	일산화탄소(86.6)
바나나	산소(0.0 %), 일산화탄소(1,000 ↑), 휘발성유기화합물(53), 가연성가스 LEL(84 %)

3. 고찰

1) 산소 농도

유해가스 발생실험에 사용한 물질 중 산소농도가 18 % 미만으로 감소한 물질은 단무지, 양조간장, 오수, 목재, 바나나 등 5종인데 양조간장과 오수는 최저 농도가 17.6 %, 16.5 % 였으며, 단무지, 목재, 바나나 등을 투입한 용기 내에서의 최저 산소농도는 0.0 %~0.2 %로 나타났다.

산소가 거의 없는 수준으로 산소농도가 감소된 물질들은 모두 생체 식물이라는 공통점이 있는데 이는 식물에 생체에 기생하고 있는 미생물, 호기성 세균, 곰팡이 등의 호흡작용과 일반적으로 야채에 함유되어 있는 비타민, 폴리페놀 화합물 등의 산화작용이 크게 작용한 것으로 분석된다.

산소농도의 측정결과로 미루어, 예외적으로 오이피클이 저장된 용기내의 산소농도는 정상범위를 나타내긴 했지만, 대부분의 가열가공이 이루어지지 아니한 식품 및 식물을 저장하는 경우에는 위에 언급한 이유로 인해 산소 농도가 정상범위 이하로 감소함을 인식하고 저장소 출입 또는 작업 시에는 그에 따른 대책이 적용되어야 한다.

2) 일산화탄소 농도

유해가스 발생실험 물질 10종을 밀폐용기내에 8주간 저장하는 동안 일산화탄소의 농도가 사업장 노출기준인 50 ppm을 초과하지 않은 물질은 단무지, 양조식초, 식용유, 오수 등 4종이었다. 백태의 최고농도는 135 ppm, 오이 피클의 최고농도는 131 ppm, 양조간장의 최고농도는 270 ppm, 그리고 목재는 123 ppm, 고철은 86 ppm이 최고농도이었다.

특히 바나나 용기의 산소농도는 1,000 ppm 이상으로서 측정기기의 최고 범위를 초과하였다. 이에 대해서는 바나나의 숙성 및 부패과정과 전기화학식 측정기기의 측정과정에 대한 검토가 세밀히 이루어져야 할 것으로 보인다.

용기내의 산소농도와 비교해서 보면, 백태, 오이피클, 양조간장, 고철 등의 밀폐용기에서 산소농도는 18 ppm 또는 17 ppm(양조간장) 이상이었던 이들 용기의 일산화탄소는 모두 50 ppm을 초과하였다.

일반적으로 물질의 산화작용시 이산화탄소가 발생하고 산화작용의 부수적인 반응 결과물로서 일산화탄소가 발생할 수 있는 것으로 알려져 있으나 바나나 용기에서의 과다한 일산화탄소 발생과 산소농도가 감소하지 않은데도 일산화탄소가 발생하는 메카니즘에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

3) 휘발성유기화합물 농도

휘발성유기화합물은 사업장 노출기준이 규정되어 있지 않은데 양조간장 용기에서 최고농도가 50 ppm을 초과하였으며, 목재 용기에서는 최고농도가 100 ppm을 초과하였다. 목재 용기내의 휘발성유기화합물 농도는 2주차에서 181 ppm으로서 최고치를 보이다가 시간이 경과할 수록 전반적으로 농도가 감소하는 경향을 보였다. 이는 갓 잘라낸 나무를 밀폐용기에 투입하였기에 목재에 함유된 유기물질의 증기가 발생한 것으로 보인다.

4) 황화수소 농도

단무지와 목재의 저장용기에서 황화수소의 농도가 10 ppm을 초과하였는데, 단무지의 제조과정 또는 저장중에 황화수소가 발생하는 이유로서 무의 구성 성분에는 황이 함유되어 있어 무의 숙성 또는 발효과정에서 황화수소가 생성 되는 것으로 알려져 있으나 아직까지 그 정확한 메카니즘은 알려져 있지 않다.

목재에서 황화수소가 발생하는 이유는 아직 연구된 바가 없다.

일반적으로 오수처리장 또는 정화조에서 황화수소가 높은 농도로 발생하는데 비하여 본 실험에서는 황화수소의 농도가 노출기준을 초과하지 않았던 이유로는, 일반적인 오수처리장에서는 오수 침전물의 처리시에 분뇨의 분해 과정에서 황화수소가 발생하는데 비하여, 본 실험에서는 오수처리장의 액체를 채집하여 밀폐용기에 투입함으로써 황화수소의 농도가 높게 발생할 수 있는 근원물질이 적었기 때문인 것으로 분석된다.

5) 가연성가스 농도

폭발하한값의 농도가 유의하게 높게 나타난 물질은 바나나(79 %)인데, 바나나 용기에서는 일산화탄소의 농도가 1,000 ppm으로서 측정범위를 초과하는 현상을 보인 바 있어 바나나의 숙성 및 부패과정과 측정기의 간섭물질 존재에 대하여 추가 연구가 필요하다.

4. 직독식 장비의 분석농도 확인 실험

1) 실험개요

(1) 실험목적 및 필요성

직독식 가스 측정법은 측정 및 분석의 편의성과 공기 중 유해가스 포함 여부를 즉시 확인할 수 있는 기술적 신뢰도가 검증된 방법이라 할 수 있다. 그러나 본 실험에서 사용한 직독식 복합가스 측정기는 특정 화학물질에만 반응하여 측정하도록 고안된 단일가스 측정기와는 달리 일부 유해가스 측정값에 대해 비이상적 측정값이 관측되었다. 특히 일산화탄소(CO) 측정값의 경우 측정 신뢰범위를 넘어서는 측정값이 기록되어 공인된 측정방법을 통한 측정값의 비교가 필요하다.

(2) 일산화탄소 측정방법

일반적으로 분자량이 큰 가스상 물질의 경우 흡착매체를 이용한 측정 및 분석 방법이 개발되어 있고 분석값에 대한 신뢰도가 공인되어 있으나 일산화탄소 가스에 대한 측정방법의 경우 위와 같은 방법으로 측정할 수 없는 한계가 있다. 일산화탄소 측정에서 가장 널리 사용되는 방법으로는 비분산 적외선 방법(Non-Dispersive Infra Red Spectroscopy), 전기화학센서 측정법, 그리고 검지관 방법이 있다. 비분산 적외선 방식과 전기화학센서를 채택하고 있는 측정기의 경우 휴대가 간편하며 연속측정을 통한 농도변화패턴 평가가 가능

하다는 장점이 있지만, 시간 경과에 따른 센서의 Drift가 발생하기 때문에 주기적으로 제로가스와 스펀가스를 이용하여 교정을 해야 한다. 또한, 검지관 튜브를 이용한 측정법은 조작이 간단하고 저렴한 장점이 있지만 정확도가 떨어지고 특히 저농도에서 측정할 경우 농도표시 간격이 좁게 나타나므로 발색 범위를 읽는데 있어 많은 오차를 유발할 수 있다. 일산화탄소 측정방법 중 가장 정확도가 뛰어난 방법으로는 Canister에 유해가스를 포집하여 GC로 분석하는 방법인데, 검출한계(1ppm 이하)가 낮고 시료의 반복분석이 가능하다는 장점이 있지만 경제적으로 큰 부담이 있으며 분석 시 수분제거 시스템이 요구되는 단점이 있다.

〈표 IV-22〉 일산화탄소 측정방법의 비교

분석방법	분석기기	장·단점
· NMAM 6604 · ISO/CD 8519 · OSHA ID-209	Electro-Chemical Sensor	· 측정범위 : 0~50ppm · 휴대간편 · 연속측정 및 변화패턴 평가가능 · 주기적 교정 필요
· OSHA ID-210 · ISO 8186	GC-DID	· 1ppm 이하 측정가능 · 휴대불가 · 고가
· ISO 4224	Non-dispersive IR	· 휴대간편 · 0~50ppm 이상 · 연속측정 및 변화패턴 평가가능 · 주기적 교정 필요
· NMAM 3800	FTIR Spectroscopy	· 연속측정 및 변화패턴 평가가능 · 정확도 뛰어남
· ISO 8760	Detective Tube	· 조작 간단하고 저렴 · 연속측정 불가 · 정확도가 다른 장비에 비해 떨어짐 · 저농도 측정곤란

밀폐용기 발생 유해가스 측정실험의 경우 분석을 위해 필요한 유해가스의 양이 충분하지 않은 점을 고려하여, 유해가스를 포함한 공기에 IR광을 직접 투과시켜 흡광 스펙트럼으로부터 농도를 구하는 FTIR 측정방법을 사용하였다. FTIR 가스 분광법은 광범위의 파장대역에서 측정가스에 대한 적외선광의 투과율과 흡광도 변화를 관측함으로써 미지의 측정가스에 대한 정성 및 정량 분석을 할 수 있는 방법이다. 또한, 화합물을 분리하지 않고 혼합된 상태에서 각 성분의 분광학적 흡광스펙트럼의 특성을 이용하기 때문에 측정대상 외의 성분에 대한 분석이 가능하며 간접 성분의 정보를 정확히 파악하고 있는 경우에는 측정치의 신뢰성을 높일 수 있다.

2) 실험 방법

(1) 실험방법

직독식 복합가스측정기를 사용하여 밀폐용기에서 발생하는 일산화탄소의 농도를 측정한 결과 백태, 오이피클, 양조간장, 목재, 바나나에서 100 ppm 이상의 일산화탄소가 검출되었다. 특히 바나나의 경우 처음 1주가 경과된 후부터 1,000 ppm 이상의 농도가 기록되었다. 측정에 사용한 직독식 복합가스 측정기의 일산화탄소 센서 측정범위는 0~1,000 ppm으로 알려져 있으나 밀폐용기에 담긴 바나나의 일산화탄소 농도는 측정범위를 넘어서는 것으로 나타났다. 본 실험은 복합가스측정기로 측정한 일산화탄소 농도에 대한 신뢰성 검증이 목적이므로 동일한 조건하에서 측정을 실시하여야 하나 복합가스 측정기와 FTIR 분광계의 분석메커니즘 차이에 의한 응답시간차로 인해 동시 측정은 불가능 하였다. 따라서 상대적으로 긴 응답시간을 가진 직독식 복합가스측정기를 사용하여 농도측정을 실시한 후 FTIR을 사용하여 밀폐용기 내의 일산화탄소를 측정하였다.

(2) 실험장치

다원자 분자의 대부분은 적외선에 대하여 고유의 흡수 스펙트럼을 가지고 있다. 일산화탄소와 같은 탄소화합물도 마찬가지로 적외선에 대하여 매우 강한 흡수 스펙트럼을 가지고 있는데 이러한 적외선 흡수 스펙트럼은 가스의 종류와 농도에 의존하기 때문에 특정 흡수대역에서 흡광도의 변화를 관측하여 가스에 대한 정량 및 정성 분석을 할 수 있다. 분자의 적외선 흡수를 이용한 일산화탄소 분석은 종전부터 많이 사용되고 있으며 그 측정방법의 대부분은 비분산 적외선 흡수방법(Non-Dispersive Infra Red Spectroscopy)이다. 이 방법은 특정 파장의 적외선 흡수만을 이용하므로 장치의 구조가 단순하고 가스 농도의 연속 모니터링 기법으로 활용할 수 있으나 특정 파장 대역의 흡광도만을 이용한다는 원리상 단성분 가스만 측정이 가능한 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 다성분의 동시분석 및 간섭성분의 분석이 가능하고 정량 정밀도가 우수한 FTIR(Fourier Transform Infra Red Spectroscopy ; $\lambda = 2.5 \sim 25 \mu\text{m}$) 측정방법을 선택하였다.

가) 측정 및 분석장치

본 실험에서는 Gas FTIR (Midac Corp. I 40001, USA) 을 사용하여 일산화탄소를 측정하였으며, 가스스펙트럼 분석소프트웨어는 Auto Quant pro (Midac Corp. U.S.A)를 사용하였다.

나) FTIR 측정조건

밀폐용기 내에서 발생하는 유해가스 분석을 위해서 transfer line과 가스셀에 N_2 를 불어넣어 흡착되어 있는 휘발성 물질과 잔존하고 있는 가스를 배출한 후 표준가스를 측정하였다. 유해가스의 이송라인은 1/4인치 PTFE관과 1/4인치

Tygon tube를 연결하여 밀폐용기 내에 직접 삽입하여 측정하였다.

유해가스 측정을 위한 FTIR의 구체적인 측정조건은 다음과 같다.

- wavenumber range : $400 \sim 4500 \text{ cm}^{-1}$
- resolution : 0.5 cm^{-1}
- scan number : 4회/spectrum

다) 표준가스의 측정

본 실험에서 설정한 분석대상 가스(CO)의 FTIR을 스펙트럼을 조사하였으며, 이들 표준가스의 농도는 <표 IV-23>과 같다.

〈표 IV-23〉 표준가스의 농도

Reference Gas	Concentration(ppm)	Carrier gas	비고
CO	50		

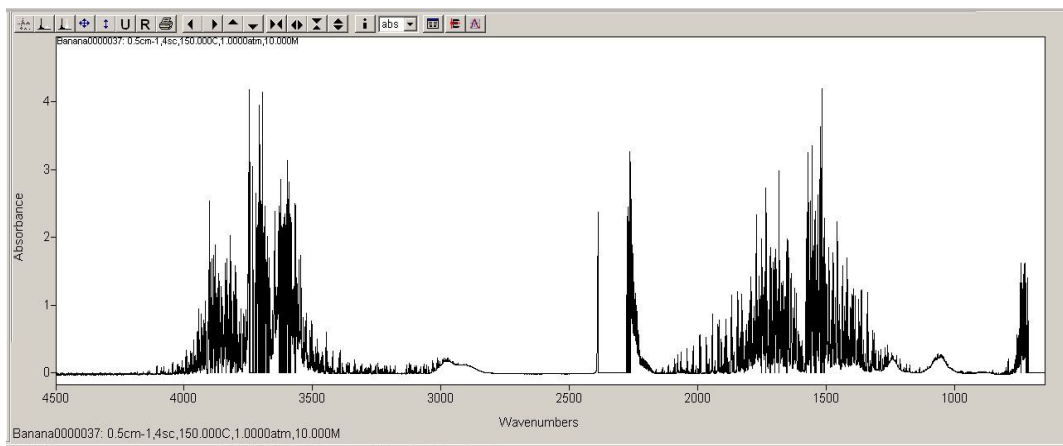
3) 실험결과 및 결론

(1) 실험 결과

FTIR을 사용하여 가스 측정을 할 경우 시료의 특성상 고체나 액체와 달리 병진운동 및 회전운동을 하게 되므로, 분자의 운동에 대한 흡수피크가 관측된다. 또한 가스상 물질의 스펙트럼은 여러 피크가 무리를 지어 나타나므로 정확한 흡수대역을 찾아야 한다. 이에 따라 일산화탄소의 표준가스 측정을 위해 N_2 가스에 희석시킨 농도 50 ppm의 일산화탄소를 25 °C 1기압에서 측정한 결

과 $2,050 \sim 2,250 \text{ cm}^{-1}$ (absorbance/wavenumber)에서 강한 흡수대가 나타났으며, 이 대역을 밀폐용기 내 유해가스 측정값과 비교하기 위한 일산화탄소 표준가스 흡수 대역으로 설정하였다.

밀폐용기 내 발생 유해가스의 흡수 스펙트럼을 분석한 결과 식용유, 고철, 하수를 제외한 모든 측정대상의 $2,200 \sim 2,250 \text{ cm}^{-1}$ 대역에서 일산화탄소 성분임을 알 수 있는 피크가 검출되었다. 특히 <그림 IV-18>과 같이 일산화탄소의 스펙트럼은 $1,600 \text{ cm}^{-1}$ 대역과 $3,800 \text{ cm}^{-1}$ 에서 확인할 수 있는 수분(H_2O) 스펙트럼의 강한 흡수대역의 간섭을 받지 않는 것으로 나타났다.

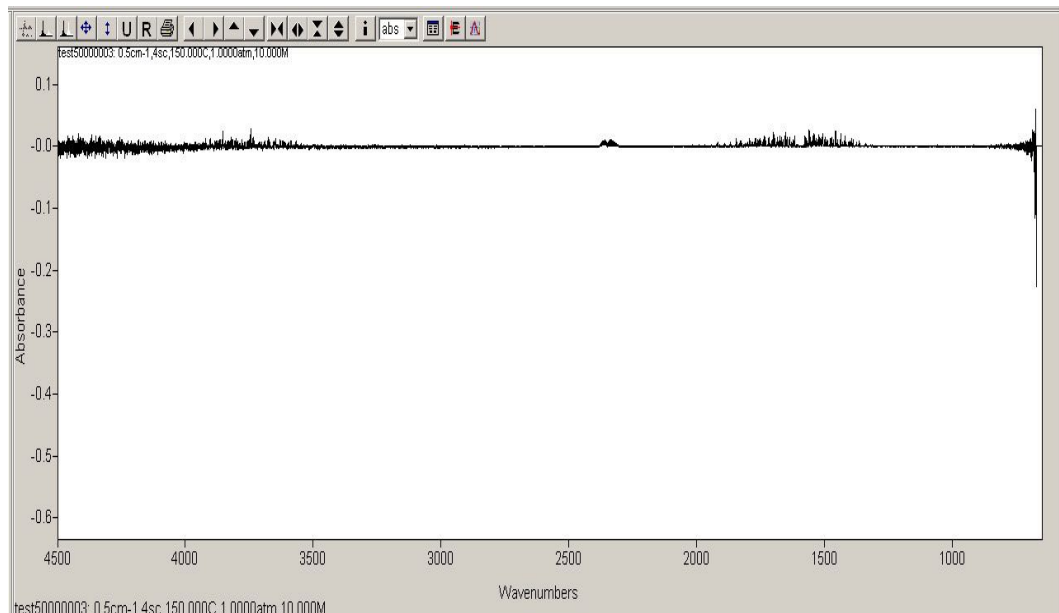


[그림 IV-18] 밀폐용기에 담긴 바나나의 FTIR 흡수 스펙트럼

수분의 흡수대역은 Midac Corp.(U.S.A)에서 제공하는 표준스펙트럼으로 확인하였으며, 농도 500 ppm의 수분을 25°C 1기압에서 측정한 결과이다. 밀폐용기 내 유해가스를 FTIR을 이용하여 정량분석하기 위해서는, 이러한 수분을 포함한 여타 간섭성분에 대한 흡수대역과 중복되지 않는 부분에서 측정대상 유해가스의 특성피크 영역을 설정해야 할 필요가 있다.

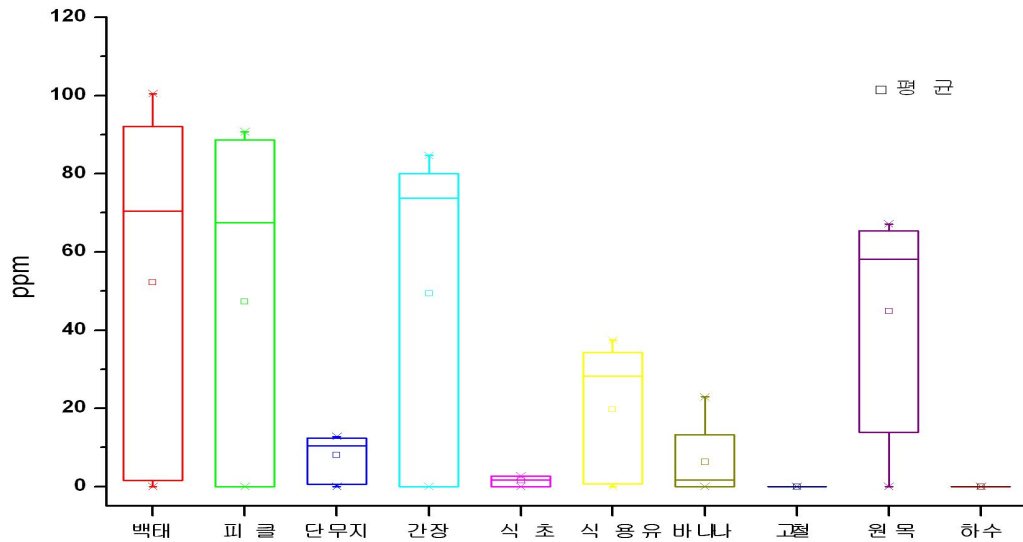
고철이 들어있는 밀폐용기 내 유해가스의 흡수 스펙트럼을 <그림 IV-19>와 같이 표시하였다. 모든 대역에 걸쳐 특정 가스 스펙트럼은 나타나지 않았으며, 수분 스펙트럼에 대한 어떤 피크도 검출되지 않았다. 이와 같은 분석결과는 식용

유가 담긴 밀폐용기 유해가스 측정결과에서도 반복되어 나타났으며 하수가 담긴 밀폐용기에서는 주로 수분 흡수 스펙트럼만 검출되었다.



[그림 IV-19] 밀폐용기에 담긴 고철의 FTIR 흡수 스펙트럼

10종의 유해가스 발생 물질이 담긴 밀폐용기의 FTIR을 이용한 일산화탄소 측정 결과를 <그림 IV-20>과 같이 정리하였다. 고철과 하수를 제외한 모든 밀폐용기에서 일산화탄소가 검출되었으며, 백태의 경우 최대 100 ppm의 일산화탄소 농도가 측정되었다. 밀폐용기의 체적이 오랜 시간을 두어 가스농도를 측정할 만큼 충분하지 않았기 때문에 FTIR의 측정시간은 농도의 최대값을 기록하고 난 후에 일정한 비율로 농도 수준이 떨어질 때까지로 설정하였다. 일산화탄소가 검출된 8종의 밀폐용기 중 하나를 제외한 모든 측정대상의 측정값에서 중앙값보다 평균값이 낮게 나타나는 Skewed left 현상이 나타났으나 농도의 평균값은 의미가 없으므로 농도의 범위와 최대값으로 일산화탄소의 농도를 평가하였다.



[그림 IV-20] 밀폐용기 유해가스의 일산화탄소 농도 분포

<표 IV-24>에서 정리한 FTIR 측정값과 직독식 복합가스 측정기를 이용한 측정값을 살펴보면, 직독식 복합 가스 측정기에서 1,300 ppm 까지 측정되었던 바나나의 일산화탄소 농도 최대값은 22 ppm이었으며 주로 3~20 ppm의 범위에서 농도가 기록되었다. 백태의 경우 직독식 FTIR 측정값은 100 ppm이고 직독식 측정기의 측정값은 197 ppm으로 약 2배가량 차이가 났으며 오이피클, 단무지, 간장, 식용유, 원목은 최대 20 ppm의 차이를 넘어서지는 않았다.

〈표 IV-24〉 FTIR 측정값과 복합가스측정기 측정값의 비교

측정방법	백태	오이 피클	단무지	간장	식초	식용유	바나나	고철	원목	하수
FTIR (ppm)	100.488	90.707	12.768	84.636	2.744	37.419	22.898	0.068	67.157	0
직독식 (ppm)	197	110	17	100	0	37	1300	0	90	0

2) 고찰

직독식 복합 가스측정기를 이용한 일산화탄소 농도 측정값의 신뢰성을 검증하기 위하여 동일한 조건에서 FTIR을 이용한 측정값을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가) 밀폐용기 내 유해 가스에 대한 FTIR 흡수 스펙트럼을 분석한 결과, 일산화탄소는 다른 성분의 간섭을 받지 않는 영역대인 $2,200 \sim 2,250 \text{ cm}^{-1}$ 에서 특성피크가 검출되었으며 이를 정량 분석함으로써 FTIR의 정량정밀도를 확인하였다.

나) 백태와 바나나가 담긴 밀폐용기를 제외하고, 모든 분석대상에서 FTIR 측정값과 직독식 복합가스측정기의 측정값과의 차이가 최대 20 ppm를 넘어서지 않는 것으로 분석되어, 백태와 바나나 용기 외의 용기에서 직독식 복합 가스측정기를 이용하여 측정한 일산화탄소 농도값의 신뢰성을 검증하였다.

다) 직독식 복합 가스 측정기를 이용하여 측정한 바나나가 담긴 밀폐용기의 경우, FTIR 측정값과 비교하여 60배 이상 과대평가 되었으므로 1,300 ppm에 이르는 일산화탄소 농도값은 신뢰할 수 없다.

V. 밀폐공간별 실태조사 및 작업특성 분석

1. 맨홀

1) 측정대상 맨홀의 종류

맨홀이란 노면에서 지하공간으로 사람이 출입할 수 있게 만든 구멍으로 설치하는 장소는 관의 굵기·방향이 바뀌는 곳, 기점이나 교차점, 길이가 긴 직선부에 중간에 설치되며, 통풍이나 관거의 연락에도 이용된다. 모양은 시공하기가 수월한 원형이 가장 많고, 이 밖에 보통 지름이 60 cm 정도인 주철 또는 철근콘크리트제인 원형뚜껑을 덮는다.

현재 국내에서 사용되는 맨홀의 종류는 그 용도에 따라 상하수도, 전기, 통신, 소방용, 등으로 분류되고 있다. 용도에 따라 맨홀 내부로의 출입목적 또한 다양해지는데 1999년부터 2007년까지 발생한 재해사례를 분석해보면 맨홀 내 출입사유는 다음과 같았다.

(1) 우수 및 오수 맨홀

- 우수박스 관로 보수를 위한 사전 점검 작업
- 맨홀 오수관의 상태확인 및 양수작업
- 오수 맨홀내부 침출수 양수작업
- 하수관로 보수작업을 위한 CCTV 촬영준비 과정 중 하수관 물막이를 위한 작업
- 오수정화시설 방류수조 맨홀의 수중펌프 확인
- 지하맨홀 내부에 있는 제수변 잠금 작업

- 미준설 유입관로의 슬러지 및 토사 퇴적상태 확인
- 맨홀 내부 케이블 밸브 누출상태 점검, 보수

(2) 상수도 맨홀

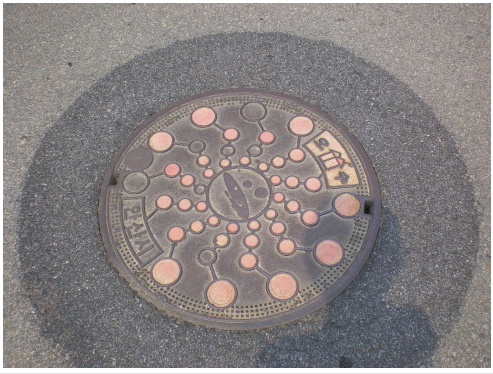
- 수도관 내부 공기를 빼내는 작업
- 파열된 상수관 밸브 잠금 작업
- 맨홀 내부 관로 점검
- 제수변실 내 양수작업
- 맨홀 내부 상수도관에 외부 부착식 초음파 유량계 센서케이블 설치

(3) 전력구 맨홀

- 맨홀 선통 작업
- 광케이블 유지보수 공사
- 송전맨홀 우수유입 확인

맨홀 내부는 밀폐된 공간으로 미생물 번식에 의한 황화수소, 일산화탄소, 이산화탄소 등 유해가스 발생 및 산소결핍으로 인해 사망사고가 다발하고 있다. 따라서, 이번 실태조사에서는 맨홀 내 질식재해가 가장 다발하였던 하수도 맨홀을 중심으로 조사를 실시하였다.

이번 실태조사에서는 경기도 A시에 위치한 총 55개의 맨홀이 측정되었으며 거주지역과 공단지역을 나누어 우수맨홀을 각 9개씩 측정하였고, 오수맨홀은 거주지역 6개소, 공단지역의 경우 업종에 따라 염색업 6개소, 도금업 7개소, 제지업 8개소, 식료품제조업 4개소, 화학제품제조업 4개소, 하수종말처리장 유입맨홀 2개소로 나누어 실시하였다.

	
오수맨홀	우수맨홀
	
상수도 맨홀	공단지역 폐수 맨홀
	
전력구 맨홀	도시가스 맨홀

[그림 V-1] A시 맨홀 종류

2) 국내 하수관거 시스템 현황

하수의 배제방식으로는 합류식(combined sewer system)과 분류식(seperate sewer system)이 있다. 합류식은 우수와 오수를 하나의 관거 계통, 즉, 합류관으로 배제하는 것을 말하며, 분류식은 우수와 오수를 전혀 별개의 관거계통, 즉 오수관(sanitary sewer)과 우수관(storm sewer)으로 따로 분류하여 배제하는 것이다.

이번 조사가 실시된 A시의 경우 분류식 관거가 사용 중으로 맨홀은 우수와 오수로 분리되어 있었다. 이런 경우 오수는 모두 하수처리장으로, 우수는 직접 수역으로 방류된다. 원칙적으로 오수관거와 우수관거를 별도로 매설하는 것으로 되어 있지만, 좁은 도로가 많은 경우나 도시가스관, 수도관, 전화케이블 등과 같이 다른 지하 매설물이 선행되어 매설되어진 도로에 있어서는 이들의 지하 매설물을 피해서 기존의 하수관거 외에 오수관거를 신설하는 것은 불가능할 수도 있다. 이러한 경우는 오수관만을 매설하고 우수는 기존의 수로나 도로 측구를 이용해서 배제하는 경우도 많았다.

하수의 운송시스템은 에너지원에 따라 자연유하식(중력식), 압력식, 그리고 진공식 시스템으로 구성되는데 자연유하식은 현재 가장 일반적으로 이용되는 시스템으로 하수의 운송에 필요한 에너지를 하수관거가 매설되어 있는 자연 경사를 이용한 것으로 높은 곳에서 낮은 곳으로 중력에 의해 흐르는 시스템을 말한다. 자연유하식으로 하수관거를 매설하는 경우에는 지형이 적당한 하향 경사를 갖고있는 지형에서는 가장 경제적인 방법이다, 그로나 지형이 적당한 하향방향이 높은 역경사 지대나 평탄한 지형에서는 하류로 갈수록 매설깊이가 증가하여 건설비가 많이 소요될 뿐 아니라 슬러지가 쌓여 관거내 유해가스 농도가 발생할 수 있다.

압력식 하수관거는 각 가정에서 배출된 오수를 일단 각 가정 또는 몇 개의 가정단위로 설치된 저수조에 자연유하로 수집하며, 저수조 내에 수집된 하수가

일정량 이상이 되면 저수조 내의 수중 펌프의 자동운전에 의하여 하수처리장 또는 근처의 자연 유하관까지 압송하는 시스템이다. 압력식 하수관거에는 STEP(Septic Tank Effluent Pump)시스템과 GP(Grinder pump)시스템이 있다. STEP 시스템은 기존 주택에서 소유하고 있는 정화조를 그대로 이용한 거승로 정화조의 유출수를 압송해 가는 시스템으로 개발한 것이다. 반면에 GP 시스템은 정화조를 이용하지 않고 하수관거 체계에서 하수에 포함되어 있는 비교적 큰 불순물을 파쇄한 뒤에 오수와 함께 압송하는 시스템이다

진공식 하수관거 시스템은 진공펌프를 이용하여 하수관거 내에 진공을 발생시켜 오수와 공기를 혼합하여 진공의 힘으로 수송하는 시스템을 말한다. 일단 각 가정에서 배출된 오수를 자연유하로 저수조에 수집하며, 저수조 내에 수집된 하수가 일정량 이상이 되면 저수조 내에 설치된 진공밸브가 작동해서 오수와 함께 일정한 비율로 공기를 강제로 진공 하수관거 내에 흡입시켜 진공 발생원이 되는 진공 펌프장으로 수송하는 방법이다. 진공펌프장에 수집된 오수는 가압시키거나 또는 자연유하로 하수처리장으로 수송시킨다.

(김학주(2001)_하수관거정비 타당성 조사사업 추진방안)

3) 측정방법

측정은 맨홀에 있는 통기구멍을 통해 튜브(Tygon tubing, U.S.A.)를 높이별(0.5m, 1m, 1.5m, 2m)로 내려서 측정하였으며 측정기의 내부 펌프를 통해 채취된 공기(분당 400cc 채취)의 가스농도를 직독식 가스농도 측정기(Sentry Rae, USA)를 사용하여 분석하였다. 측정장비는 직독식 유해가스 농도측정기로 산소농도, 황화수소, 가연성가스(메탄가스), 휘발성유기화합물, 일산화탄소를 측정할 수 있는 기구이다. 시안화수소와 암모니아는 검지관을 이용하여 측정하였다. 각 맨홀마다 깊이별로 5분 동안 측정하여 농도가 정상상태에 이르도록 하였고 측정결과는 15초 간격으로 측정기에 저장하였다. 다만 5분후에도

농도가 지속적으로 상승하는 경우에는 측정시간을 연장하였다.

직독식 가스농도 측정기의 산소센서는 전기화학식방식(Electrochemical)으로 측정범위 0~30%, 분해능 0.10%, 응답시간 15초이며, 가연성가스의 경우 접촉 연소식(Catalytic) 센서방식을 이용하여 0~100% LEL, 분해능 1%, 응답시간 15초, 휘발성유기화합물 측정 센서는 광이온화 검출기(Photo-Ionization Detector)를 이용하여 측정범위 0 ~ 200 ppm에서 분해능 0.1 ppm, 측정범위 200 ~ 2000 ppm에서 분해능 1 ppm을 가진 장비이다. 일산화탄소, 황화수소의 경우 전기화학식방식(Electrochemical)으로 일산화탄소는 측정범위 0~500 ppm, 분해능 1ppm, 응답시간 20초이며 황화수소는 측정범위 0~100 ppm, 분해능 1ppm, 응답시간 30초이다.

측정기기는 측정 전 스펠가스(Span gas, 일산화탄소 50 ppm, 황화수소 10 ppm, LEL 50%, 산소 20.9%, Isobutylene 100 ppm)를 사용하여 측정 전 스펠 보정 실시 후 사용하였다.

〈표 V-1〉 측정가스별 측정범위, 분해능, 응답시간

연번	종 류	측정범위	분해능	응답시간
1	O ₂	0~30 % 또는 그 이상	0.1 % 이하	15초 이내
2	가연성(LEL)	0~100 %	1 % 이하	15초 이내
3	VOC	0~200 ppm	0.1 ppm 이하	10초 이내
4	CO	0~500 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	20초 이내
5	H ₂ S	0~100 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	30초 이내



[그림 V-2] 측정기 사진(Sentry Rae, Raesystems, USA)



[그림 V-3] 검지기 및 검지관 사진(Sentry Rae, Raesystems, USA)

4) 측정결과

이번 실태조사에서 조사된 총 55개의 맨홀 측정결과는 거주지역과 공단지역으로 나누어 각 우수맨홀과 오수맨홀에 대한 지역별 차이를 비교하여 보았고 깊이별 차이에 대해서도 살펴보았다. 또한 공단지역의 오수맨홀의 경우 업종에 따라 염색업(n=6), 도금업 (n=7), 제지업(n=8), 식료품제조업(n=4), 화학제품제조업(n=4), 하수종말처리장 유입맨홀(n=2)로 나누어 업종별 차이에 대해서도 살펴보았다.

맨홀에 대한 가스농도 측정결과는 Box and Whisker Diagram을 이용하여 농도분포를 표시하였으며 그래프를 보는 방법은 다음과 같다.

- 그래프 상자의 하단 : 제1사분위수(25 % 해당값)
- 그래프 상자의 상단 : 제3사분위수(75 % 해당값)
- 그래프 상자 내부의 수평선 : 중앙값(50 % 해당값)
- 그래프 상자 하단 외부 수평선 : 이상값을 제외한 최소값
- 그래프 상자 상단 외부 수평선 : 이상값을 제외한 최대값
- 그래프 상자 상하단 외부 점 : 이상값

그래프의 상자 내에 측정결과값의 50 %가 분포함을 의미하고 상자크기가 작을수록 측정값이 밀집하여 있음을 나타낸다. 그래프 상의 이상값으로 표시된 측정값은 자료수집의 오류로 인한 것이 아니고 실측치이므로 보고서에는 이상값을 포함한 최소값과 최대값을 기준으로 범위를 기술하였다.

(1) 지역별 분포

공단지역과 거주지역의 맨홀 농도를 비교하여 보면 우수맨홀의 경우, 거주 지역에서는 일산화탄소가 평균 0.6 ppm (범위 0-2 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 1.4 ppm (범위 0-5.5 ppm), 황화수소가 평균 0.3 ppm (범위 0-3 ppm), 폭발하한값이 평균 3.3 % (범위 0-9 %), 산소농도가 평균 20.8 % (범위 20.4-20.9 %)를 나타내었다. 공단지역에서는 일산화탄소가 평균 0.6 ppm (범위 0-2 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 1.4 ppm (범위 0-5.3 ppm), 황화수소가 검출되지 않았고, 폭발하한값이 평균 3.7 % (범위 0-26.0 %), 산소농도가 평균 20.6 % (범위 18.6-20.9 %)를 나타내 산소농도에 있어 거주지역보다 다소 낮은 농도값을 나타내었으나 다른 물질들에 대해서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 거주지역과 공단지역의 우수맨홀에 대한 유해가스 농도의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않

았다.

오수맨홀의 경우, 거주지역에서는 일산화탄소가 평균 0.8 ppm (범위 0-3 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 1.7 ppm (범위 0.2-6.3 ppm), 황화수소가 평균 2.3 ppm (범위 0-22 ppm), 폭발하한값이 평균 2.8 % (범위 0-6 %), 산소농도가 평균 20.7 % (범위 19.9-20.9 %)를 나타내었고 공단지역에서는 일산화탄소가 평균 10.5 ppm (범위 0~105 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 24.4 ppm (범위 0.2~154 ppm), 황화수소가 평균 15.3 ppm (범위 0~315 ppm), 폭발하한값이 평균 6.0 % (범위 0~22 %), 산소농도가 평균 19.7 % (범위 8.7~20.9 %)의 농도를 보였다. 거주지역과 공단지역 간의 오수맨홀에 대한 유해가스의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 일산화탄소의 경우 $p=0.0012$, LEL(%)은 $p=0.0002$, 산소(%)는 $p=0.003$, 황화수소는 $p=0.03$ 으로 $p<0.05$ 로 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 있음을 알 수 있었다. 그러나 휘발성유기화합물(VOC)은 $p>0.05$ 로 통계적으로 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다.

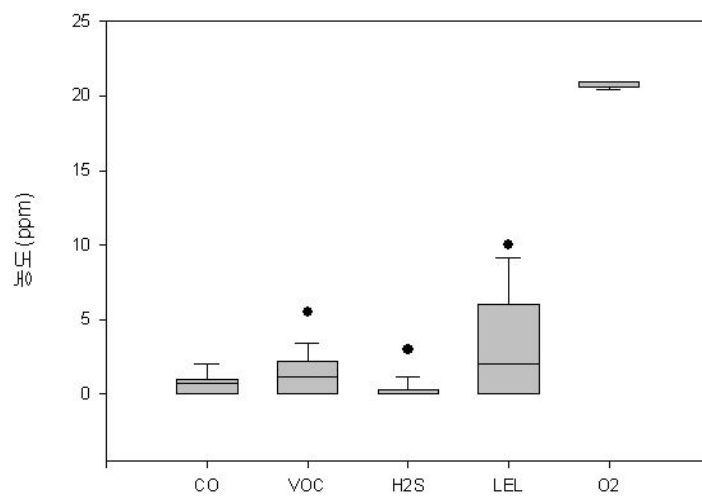
〈표 V-2〉 거주지역과 공단지역의 가스농도 측정결과 비교

항목	일산화탄소		VOC		황화수소		가연성가스		산소	
	거주	공단	거주	공단	거주	공단	거주	공단	거주	공단
평 균	0.8	9.0	1.6	22.7	2.3	17.2	2.8	6.1	20.7	19.8
분 산	1.0	417.8	3.4	1650.6	39.5	4100.8	3.8	29.1	0.1	5.8
관측수	11	63	10	63	12	64	12	64	12	64
t 통계량	-3.16		-4.11		-1.83		-3.80		2.75	
P(T<=t)	0.0012		0.0001		0.0361		0.0002		0.0038	

〈표 v-3〉 거주지 우수맨홀 가스 농도

구 분	일산화탄소	VOC	황화수소	가연성가스	산소
최소값	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4
제1사분위수(25 %)	0.0	0.0	0.0	0.5	20.7
중앙값(50 %)	0.8	1.2	0.0	2.0	20.9
제3사분위수(75%)	1.0	2.1	0.0	5.5	20.9
최대값	2.0	5.5	3.0	10.0	20.9
평 균	0.6	1.4	0.3	3.3	20.8

거주 지 우수

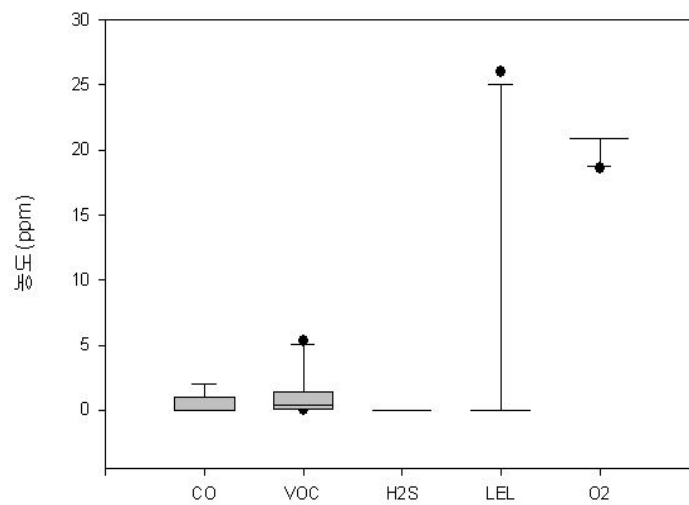


[그림 v-4] 거주지 우수맨홀 가스 농도

〈표 V-4〉 공단 우수맨홀 가스 농도

구 분	일산화탄소	VOC	황화수소	가연성가스	산소
최소값	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6
제1사분위수(25 %)	0.0	0.2	0.0	0.0	20.9
중앙값(50 %)	0.0	0.4	0.0	0.0	20.9
제3사분위수(75%)	1.0	1.3	0.0	0.0	20.9
최대값	2.0	5.3	0.0	26.0	20.9
평 균	0.6	1.0	0.0	3.7	20.6

공단우수

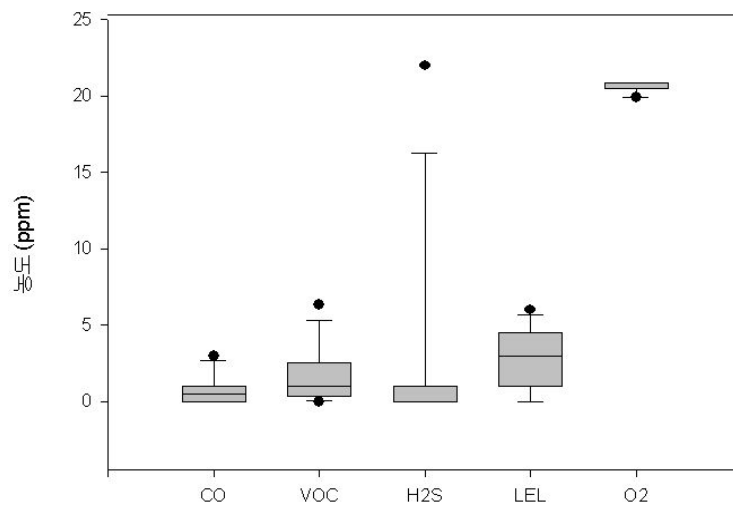


[그림 V-5] 공단 우수맨홀 가스 농도

〈표 v-5〉 거주지 오수맨홀 가스 농도

구 분	일산화탄소	VOC	황화수소	가연성가스	산소
최소값	0.0	0.2	0.0	0.0	19.9
제1사분위수(25 %)	0.0	0.6	0.0	1.0	20.5
중앙값(50 %)	0.5	1.1	0.0	3.0	20.9
제3사분위수(75%)	1.0	2.2	1.0	3.5	20.9
최대값	3.0	6.3	22.0	6.0	20.9
평 균	0.8	1.7	2.3	2.8	20.7

거주 지 오 수



[그림 v-6] 거주지 오수맨홀 가스 농도

(2)공단지역 오수의 업종별 차이

도금단지 오수에서는 일산화탄소가 평균 3.1 ppm (범위 1~11 ppm), 휘발

성유기화합물이 평균 19.3 ppm (범위 2.6~145 ppm), 황화수소가 평균 27.4 ppm (범위 0~203 ppm), 폭발하한값이 평균 8.2 % (범위 4~23 %), 산소농도가 평균 20.4 % (범위 20.1~20.9 %)의 농도를 보였으며 이는 거주지역에 비해 일산화탄소, 황화수소, 휘발성유기화합물의 농도가 유의하게 높음을 보여주고 있다.

식료품제조업 오수에서는 일산화탄소가 평균 0.9 ppm (범위 0~4 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 3.0 ppm (범위 0.1~10.1 ppm), 황화수소가 평균 0.2 ppm (범위 0~2 ppm), 폭발하한값이 평균 8.4 % (범위 4~15 %), 산소농도가 평균 20.1 % (범위 19.0~20.9 %)의 농도를 보였다.

염색단지 오수에서는 일산화탄소가 평균 38.1 ppm (범위 4~105 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 58.7 ppm (범위 8.6~154 ppm), 황화수소는 포집되지 않았으며, 폭발하한값은 평균 7.8 % (범위 4~19 %), 산소농도는 평균 19.3 % (범위 13.4~20.9 %)의 농도를 보였다. 특히 염색단지에서 유해물질의 농도가 상당히 높게 나왔다. 일산화탄소, 휘발성유기화합물은 다른 업종에 비해 평균치가 가장 높았으며, 폭발하한값과 산소농도 역시 유의하게 높았다.

제지공장 오수에서는 일산화탄소가 평균 1.7 ppm (범위 0~9 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm), 황화수소가 평균 0.3 ppm (범위 0~2), 폭발하한값이 평균 4.0 % (범위 0~8 %), 산소농도가 평균 20.0 % (범위 17.4~20.9 %)의 농도를 보였다.

하수종말처리장 오수에서는 일산화탄소가 평균 13.25 ppm (범위 0~28 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 53.9 ppm (범위 2.3~111 ppm), 황화수소가 평균 157.5 ppm (범위 0~315 ppm), 폭발하한값이 평균 6.7 % (범위 0~14 %), 산소농도가 평균 14.9 % (범위 8.7~20.9 %)의 농도를 보였다.

화학제품제조업 오수에서는 일산화탄소가 평균 1.7 ppm (범위 0~9 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm), 황화수소가 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm), 폭발하한값이 평균 4.0 % (범위 0~8 %), 산소농도가

평균 20.0 % (범위 17.4~20.9 %)의 농도를 보였다.

(3) 유해가스별 농도 비교

가) 일산화탄소 (CO)

업종별 일산화탄소 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 3.1ppm (범위 1~11 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 0.9 ppm(범위 0~4 ppm), 염색단지에서는 평균 35.36 ppm(범위 0~105 ppm), 제지공장에서는 평균 1.7 ppm(범위 0~9 ppm), 하수종말처리장에서는 평균 10.6ppm(범위 5~53 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 0.3 ppm(범위 0~1 ppm) 수준이었다.

나) 휘발성유기화합물 (VOC)

업종별 휘발성유기화합물 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 19.3ppm (범위 2.6~145 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 3.0 ppm (범위 0.1~10.1 ppm), 염색단지에서는 평균 58.7 ppm (범위 8.6~154 ppm)로 검출되었다. 제지공장에서는 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm), 하수종말처리장에서는 평균 53.9 ppm (범위 2.3~111 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm) 수준이었다. 휘발성유기화합물은 염색단지에서 평균 58.7ppm, 최대농도 154 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었고 하수종말처리장에서도 평균 53.9 ppm, 최대농도 111 ppm으로 높았다.

환경오염물질 중 휘발성이 강한 물질은 휘발성 유기물질(VOCs, Volatile Organic Compounds)이라고 하는데 세계보건기구(WHO)에서는 VOCs의 종류가 약 700여 가지이며 그 중에 발암성물질, 변이원성 물질 등 많은 유독물이 포함되어 있다고 보고한 바 있다. 이중에서 현재까지 측정 및 검출된 바

있는 VOCs는 약 300여종이고 약 70여종에 대하여 미국환경보호청(EPA)과 미국 국립과학아카데미(NAS)에서 평가한 결과 인체 건강과 관련하여 우선적으로 고려해야 할 물질로 30여종을 선정하였으며 매년 그 항목수를 늘려가고 있다.

하수 슬러지는 일반적으로 독성이 있는 휘발성유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)을 포함하고 있을 수 있다. VOCs는 석유류와 유기용제의 사용 중 빈번히 하수로 유입되거나 일부 화합물은 하수처리공정에서 생성될 수도 있다. VOCs는 탄소화합물로서 다양한 형태로 존재하면서 인간의 주변 환경 및 건강에 유해한 영향을 미치거나 대기 중에서 태양광선에 의해 광화학 반응을 일으켜 오존 및 PAN(Perloxy Nitrate) 등 광화학 산화성물질을 생성시켜 광화학스모그를 유발한다.

우리나라 대다수 도시의 하수관거 대부분이 우수와 오수가 함께 흐르는 합류식 관거로 구성되어 있으며 비가 올 경우 대기에 배출된 VOCs는 빗물과 함께 하수처리장으로 유입되는 것으로 생각된다. Benzene은 옥탄가를 높이기 위한 첨가제로 사용되어 왔으나 최근 그 사용은 크게 감소하였다. Chlorinated VOCs 중 trichloroethylene은 대표적인 용매로서 금속의 탈지 세정제, 건조제 및 드라이클리닝 용제로 쓰인다. Dichloromethane은 페인트 박리제로 널리 쓰이고 혼합용제로도 많이 쓰인다. 그 외 냉매, 합성원료 혹은 중간체로 사용된다. 모두 휘발성이 강하고 물에 대한 용해도가 낮으며 미생물에 의한 분해가 어려운 특징을 가지고 있다. 특히 톨루엔은 일반적으로 원유나 석유의 산물인 가솔린계 물질에서 나오는 물질이다. 따라서 toluene은 자동차 운행이 많은 도시 지역의 도로 유출수로부터 하수처리장에 유입될 수 있다. Noll과 Depaul은 미국의 Chicago 주변의 7개 도시하수처리장에서 배출되는 개개 또는 총 VOCs의 배출률은 조사하여 발표하였는데 PCE, 1,1,1-TCA, TCE가 상대적으로 높은 배출률을 보인다고 하였다. 이들 VOCs는 NO₂와 함께 광화학반응에 의해 오존 농도를 증가시키며 인간에게 해로운 물질도 함유하고 있다.

다) 황화수소 (H_2S)

업종별 황화수소 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 27.4 ppm (범위 0~203 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 0.2 ppm (범위 0~2 ppm), 염색단지에서는 전혀 검출되지 않았다. 제지공장에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm), 하수종말처리장에서는 평균 157.5 ppm (범위 0~315 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm) 수준이었다. 황화수소는 하수종말처리장 유입관거에서 가장 높게 검출되었고 타 업종에서는 대부분 낮은 농도로 발생하였는데 도금단지의 한 맨홀에서 203ppm을 보이는 사례가 있었다.

황화수소는 약 3~5 ppm에서 불쾌한 냄새가 감지되며 50 ppm에서 결막 및 각막 상피조직에 자극을 100~150 ppm에서 눈과 호흡기계 자극, 100~300 ppm에서 취각신경 마비, 질식의 위험이 있고 700 ppm 이상에서는 노출즉시 호흡이 정지되고 질식사망에 이를 수 있다.

황환원 박테리아는 황화수소를 만들어 내는 원인중 하나이다. 반응을 통해 공기가 없는 가운데 호흡에 필요한 산소를 얻으면서 황화수소를 배출한다. 폐유 또는 분뇨 및 퇴비 등의 안쪽에서 혐기성 분해를 통해 배양되면서 황화수소를 축적하다가 드레이닝 및 교반작업 시 공기 중으로 다량 발산된다.

라) 폭발하한값 (LEL, %)

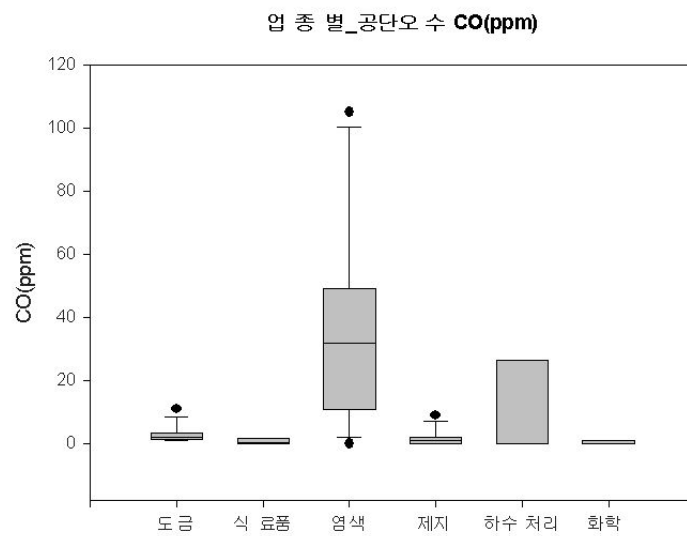
업종별 폭발하한값 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 8.2 % (범위 4~23 %), 식료품 제조업에서는 평균 8.4 % (범위 4~15 %), 염색단지에서는 평균 7.8 % (범위 4~19 %)로 검출되었다. 제지공장에서는 평균 4.0 % (범위 0~8 %), 하수종말처리장에서는 평균 6.7 % (범위 0~14 %), 화학제품제조업에서는 평균 4.0 % (범위 0~8 %) 수준이었다. 폭발하한 값 농도는 업종별로 유사하게 분포하고 있었다.

마) 산소농도 (O_2 , %)

업종별 산소 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 20.4 % (범위 20.1~20.9 %), 식료품 제조업에서는 평균 20.1 % (범위 19.0~20.9 %), 염색단지에서는 평균 19.3 % (범위 13.4~20.9 %)로 검출되었다. 제지공장에서는 평균 20.0 % (범위 17.4~20.9 %), 하수종말처리장에서는 평균 14.9 % (범위 8.7~20.9 %), 화학제품제조업에서는 평균 20.6 % (범위 20.4~20.9 %) 수준이었다. 산소 농도는 하수종말처리장 유입관거 맨홀에서 최저 8.7 %까지 농도가 감소하였으며 염색단지에서도 13.4 %까지 낮았다.

〈표 V-6〉 업종별 공단 오수맨홀 일산화탄소 농도

구 분	도금단지	식료품 제조	염색단지	제지단지	하수 처리장	화학제품 제조	주거지역
최소값	1.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
제1사분위수 (25 %)	2.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0
중앙값(50 %)	2.0	0.0	35.0	1.0	0.0	0.0	0.5
제3사분위수 (75%)	3.0	1.0	47.0	2.0	25.0	0.8	1.0
최대값	11.0	4.0	105.0	9.0	28.0	1.0	3.0
평 균	3.1	0.9	38.1	1.7	10.6	0.3	0.8

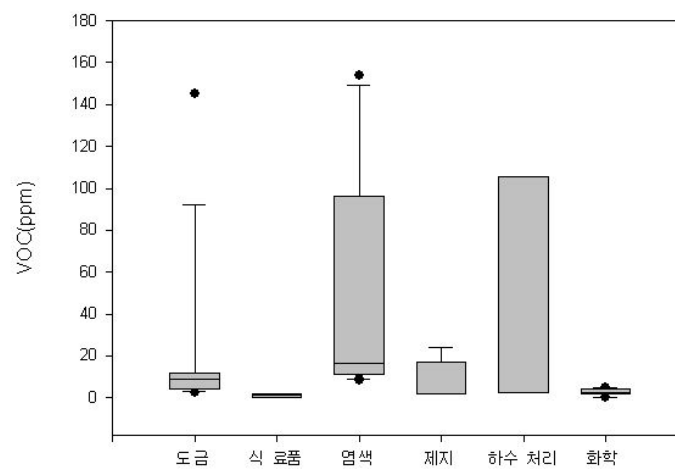


[그림 V-7] 업종별 공단 오수맨홀 일산화탄소 농도

〈표 V-7〉 업종별 공단 오수맨홀 휘발성유기화합물 농도

구 분	도금단지	식료품 제조	염색단지	제지단지	하수 처리장	화학제품 제조	주거지역
최소값	2.6	0.1	8.6	1.7	2.2	0.0	0.0
제1사분위수 (25 %)	4.2	0.2	12.7	1.8	2.3	2.0	0.4
중앙값(50 %)	8.8	1.7	16.7	2.2	2.5	2.4	1.0
제3사분위수 (75%)	10.1	1.8	84.5	16.3	100.0	4.2	1.8
최대값	145.0	10.1	154.0	24.0	111.0	4.7	6.3
평 균	19.3	3.0	58.7	8.1	43.6	2.8	1.6

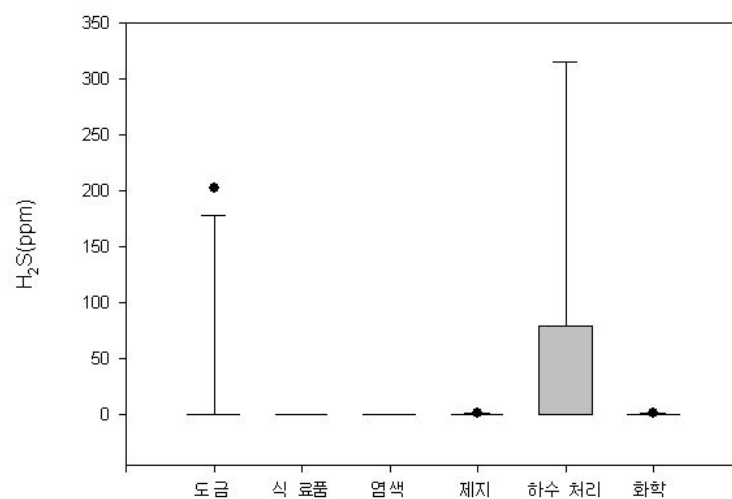
업 종 별_공단오 수 VOC(ppm)



[그림 V-8] 업종별 공단 오수맨홀 VOC 농도

〈표 V-8〉 업종별 공단 오수맨홀 황화수소 농도

구 분	도금단지	식료품 제조	염색단지	제지단지	하수 처리장	화학제품 제조	주거지역
최소값	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
제1사분위수 (25 %)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
중앙값(50 %)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
제3사분위수 (75%)	0.0	0.0	0.0	0.0	315.0	0.0	1.0
최대값	203.0	2.0	0.0	2.0	315.0	2.0	22.0
평 균	27.4	0.2	0.0	0.3	126.0	0.3	2.3

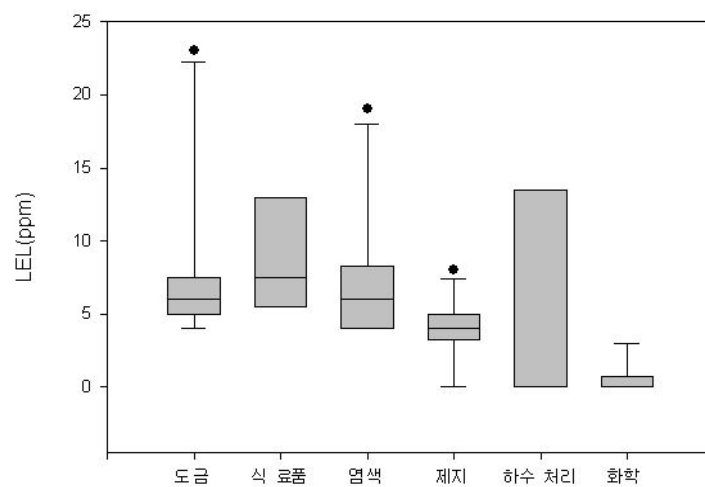
업 종 별_공단오 수 H_2S (ppm)

[그림 V-9] 업종별 공단 오수맨홀 황화수소 농도

〈표 v-9〉 업종별 공단 오수맨홀 가연성가스 LEL 농도

구 분	도금단지	식료품 제조	염색단지	제지단지	하수 처리장	화학제품 제조	주거지역
최소값	4.0	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
제1사분위수 (25 %)	5.0	5.0	5.0	3.8	0.0	0.0	1.0
중앙값(50 %)	6.0	7.0	6.0	4.0	0.0	0.0	3.0
제3사분위수 (75%)	7.0	13.0	8.0	5.0	13.0	0.0	3.5
최대값	23.0	15.0	19.0	8.0	14.0	3.0	6.0
평 균	8.2	8.4	7.8	4.0	5.4	0.6	2.8

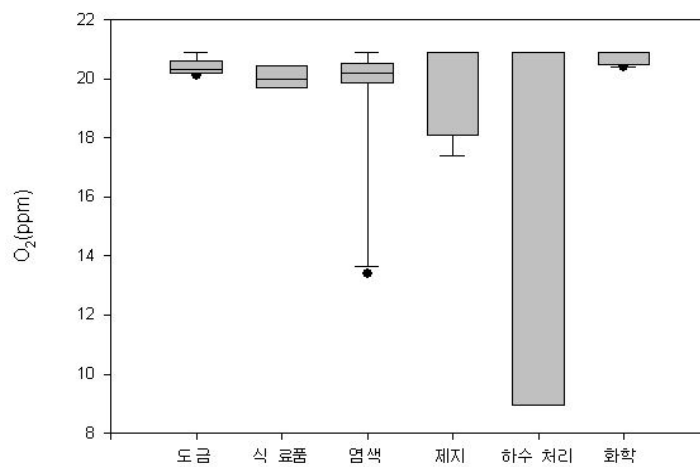
업 종 별_공단오수 LEL(ppm)



[그림 v-10] 업종별 공단 오수맨홀 가연성가스 LEL 농도

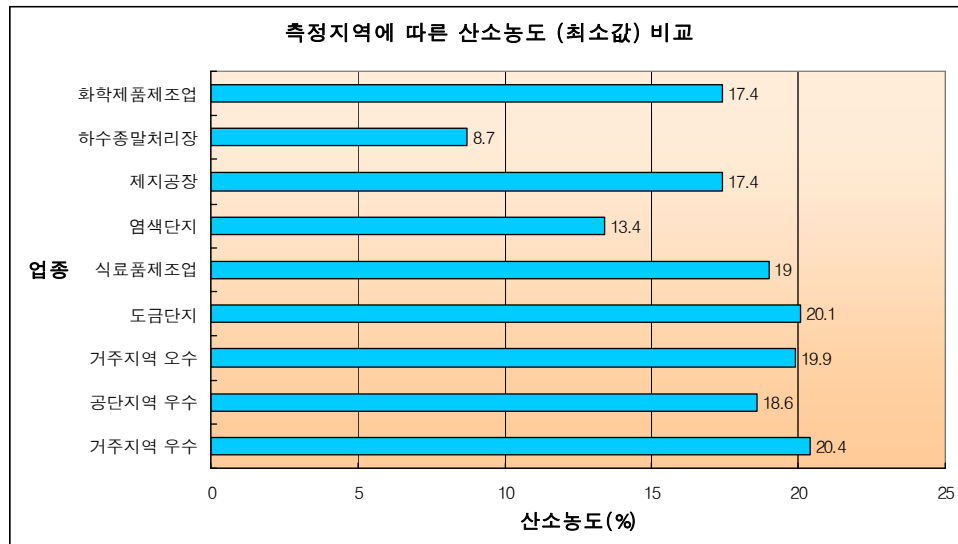
〈표 v-10〉 업종별 공단 오수맨홀 산소 농도

구 분	도금단지	식료품 제조	염색단지	제지단지	하수 처리장	화학제품 제조	주거지역
최소값	20.1	19.0	13.4	17.4	8.7	20.4	19.9
제1사분위수 (25 %)	20.2	19.7	20.0	19.3	9.2	20.5	20.5
중앙값(50 %)	20.3	20.0	20.2	20.9	20.9	20.9	20.9
제3사분위수 (75%)	20.6	20.5	20.4	20.9	20.9	20.9	20.9
최대값	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
평 균	20.4	20.1	19.3	20.0	16.1	20.7	20.7

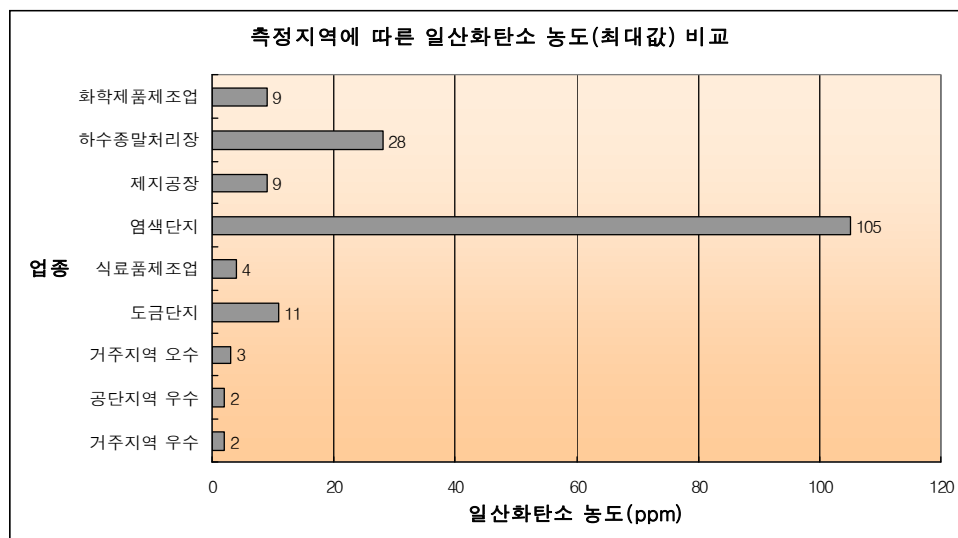
업 종 별_공단오 수 O₂ (ppm)

[그림 v-11] 업종별 공단 오수맨홀 산소 농도

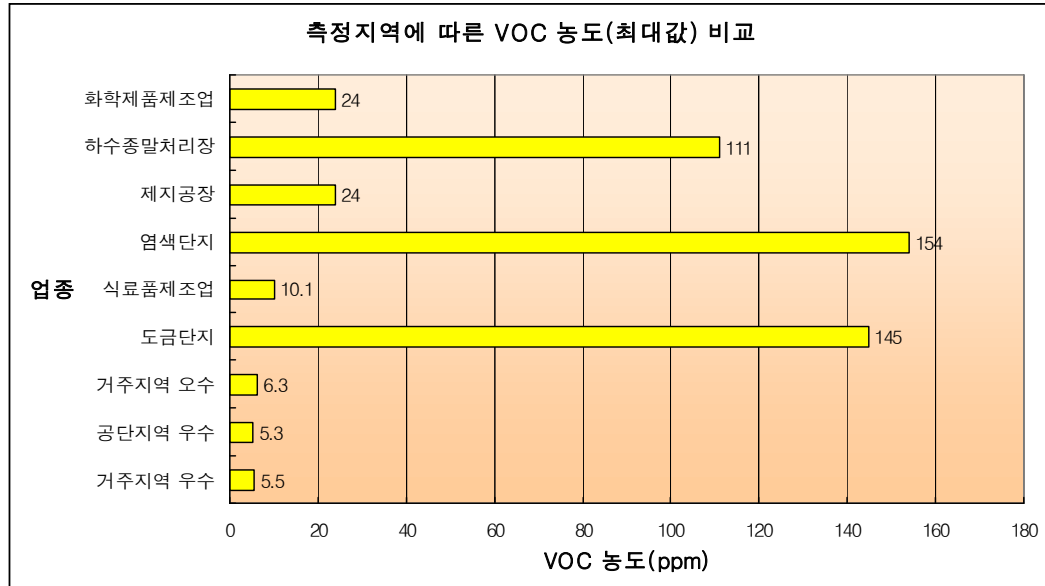
(바) 물질별 측정지역의 최대값 비교



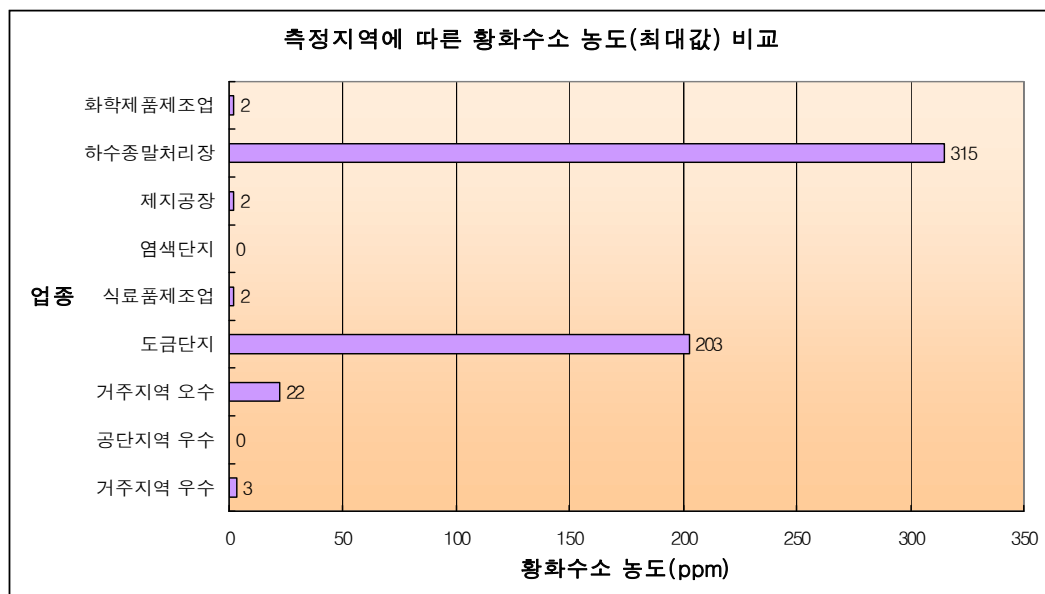
[그림 v-12] 측정지역에 따른 산소 농도(최소값) 비교



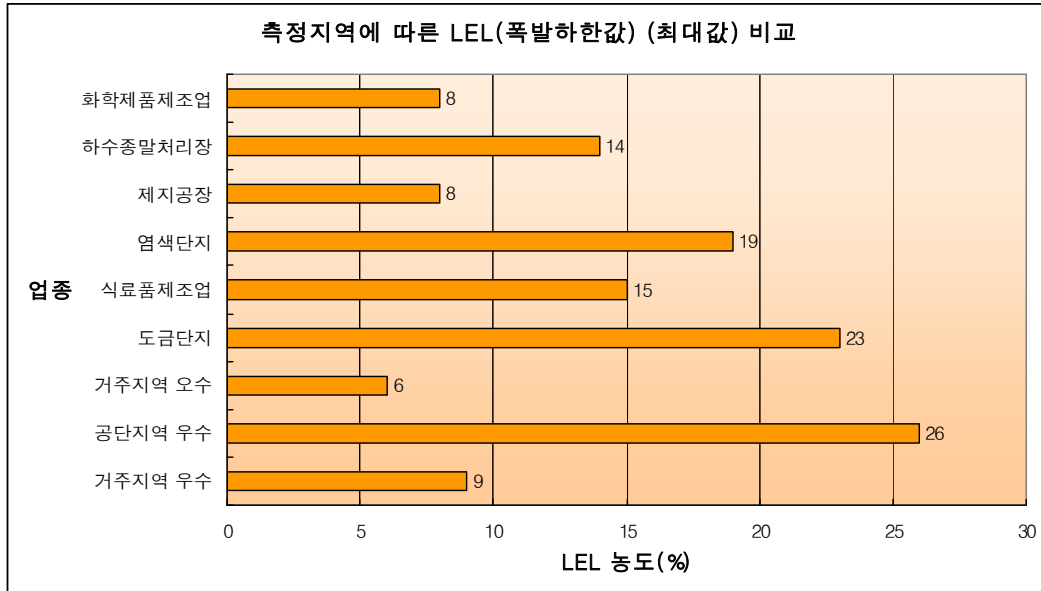
[그림 v-13] 측정지역에 따른 일산화탄소 농도(최대값) 비교



[그림 v-14] 측정지역에 따른 VOC 농도(최대값) 비교



[그림 v-15] 측정지역에 따른 황화수소 농도(최대값) 비교



[그림 v-16] 측정지역에 따른 가연성가스 농도(최대값) 비교

〈표 v-11〉 거주지역 우수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		0.6 (0~2)	1.4 (0~5.5)	0.3 (0~3)	3.3 (0~9)	20.8 (20.4~20.9)
0.5m	9	0.7 (0~2)	1.4 (0~5.5)	0.1 (0~0.1)	3.1 (0~10)	20.8 (20.5~20.9)
1.0m	9	0.7 (0~2)	0.9 (0~3.2)	0.3 (0~1.0)	2.4 (0~6)	20.9 (20.6~20.9)
1.5m	1	0	2.6	0	6	20.4
2.0m	1	0	2.6	3	9	20.4

〈표 V-12〉 공단지역 우수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		0.6 (0~2)	1.0 (0~5.3)	0	3.7 (0~26.0)	20.6 (18.6~20.9)
0.5m	9	0.4 (0~2)	1.1 (0~5.3)	0	2.1 (0~18)	20.7 (19.5~20.9)
1.0m	9	0.7 (0~2)	1.4 (0.1~5.1)	0	4.2 (0~25)	20.6 (18.8~20.9)
1.5m	3	0.7 (0~1)	0.5 (0.1~1.2)	0	8.7 (0~26)	20.1 (18.6~20.9)
2.0m	1	1	0.1	0	0	20.9

〈표 V-13〉 거주지역 우수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		0.8 (0~3)	1.7 (0.2~6.3)	2.3 (0~22)	2.8 (0~6)	20.7 (19.9~20.9)
0.5m	6	0.7 (0~2)	1.6 (0.3~2.9)	0.7 (0~3)	2.0 (0~5.0)	20.7 (19.9~20.9)
1.0m	6	0.8 (0~3)	1.8 (0.2~6.3)	3.8 (0~22)	3.5 (1~6)	20.6 (20.0~20.9)

〈표 V-14〉 도금단지 우수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		3.1 (1~11)	19.3 (2.6~145)	27.4 (0~203)	8.2 (4~23)	20.4 (20.1~20.9)
0.5m	7	2.7 (1~8)	17.1 (4~79.2)	7.1 (0~90)	7.1 (4~17)	20.5 (20.2~20.9)
1.0m	7	3.3 (1~11)	27 (2.9~145)	24.6 (0~172)	7.9 (4.0~22)	20.4 (20.1~20.9)
1.5m	3	3.3 (2~5)	6.5 (2.6~13.5)	67.7 (0~203)	11.7 (5.0~23)	20.3 (20.2~20.3)

〈표 v-15〉 식료품 제조업 오수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		0.9 (0~4)	3.0 (0.1~10.1)	0.2 (0-2)	8.4 (4~15)	20.1 (19.0~20.9)
0.5m	4	0.5 (0~2)	3.4 (0.2~10.1)	0	6.0 (4~8)	20.4 (20.0~20.9)
1.0m	4	1.3 (0~4)	3.3 (0.2~9.4)	0.5 (0-2)	9.8 (4.0~15)	19.9 (19.0~20.9)
1.5m	1	1	0.1	0	13	19.7

〈표 v-16〉 염색단지 오수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		38.1 (4~105)	58.7 (8.6~154)	0	7.8 (4~19)	19.3 (13.4~20.9)
0.5m	7	34 (4~96)	51.7 (8.6~154)	0	7.6 (4~19)	19.4 (13.7~20.9)
1.0m	7	42.8 (4~105)	154 (8.9~144)	0	8.2 (4~17)	19.1 (13.4~20.6)

〈표 v-17〉 제지공장 오수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		1.7 (0~9)	8.1 (1.7~24)	0.3 (0-2)	4.0 (0~8)	20.0 (17.4~20.9)
0.5m	8	2.0 (0~9)	6.7 (1.7~24)	0.1 (0-1)	4.1 (0~8)	19.9 (17.4~20.9)
1.0m	4	1.0 (0~3)	11.1 (1.7~24)	0.5 (0-2)	3.8 (0~6)	20.0 (17.4~20.9)

〈표 v-18〉 하수종말처리장 오수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		13.25 (0~28)	53.9 (2.3~111)	157.5 (0-315)	6.7 (0~14)	14.9 (8.7~20.9)
0.5m	2	12.5 (0~25)	51.2 (2.5~100)	157.5 (0-315)	6.5 (0~13)	15.1 (9.2~20.9)
1.0m	2	14 (0~28)	56.7 (2.3~111)	157.5 (0-315)	7 (0~14)	14.8 (8.7~20.9)

〈표 V-19〉 화학제품제조업 오수맨홀 측정결과

깊이	n	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
전체		1.7 (0~9)	8.1 (1.7~24)	0.3 (0~2)	4.0 (0~8)	20.0 (17.4~20.9)
0.5m	4	0.3 (0~1)	3.1 (2.0~4.6)	0.5 (0~2)	0.8 (0~3)	20.8 (20.5~20.9)
1.0m	4	0.5 (0~1)	3.2 (1.7~4.7)	0.3 (0~1)	0.8 (0~3)	20.8 (20.5~20.9)
1.5m	1	0	0	0	0	20.4
2.0m	1	0	2.5	0	0	20.5

사) 깊이에 따른 분포

깊이에 따른 농도분포를 살펴보면 0.5 m에서 일산화탄소가 평균 5.6 ppm (범위 0~96.0 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 12.4 ppm (범위 0~154 ppm), 황화수소가 평균 7.4 ppm (범위 0~315 ppm), 폭발하한값이 평균 4.2 % (범위 0~19 %), 산소농도가 평균 20.2 % (범위 9.2~20.9 %)를 나타내었다.

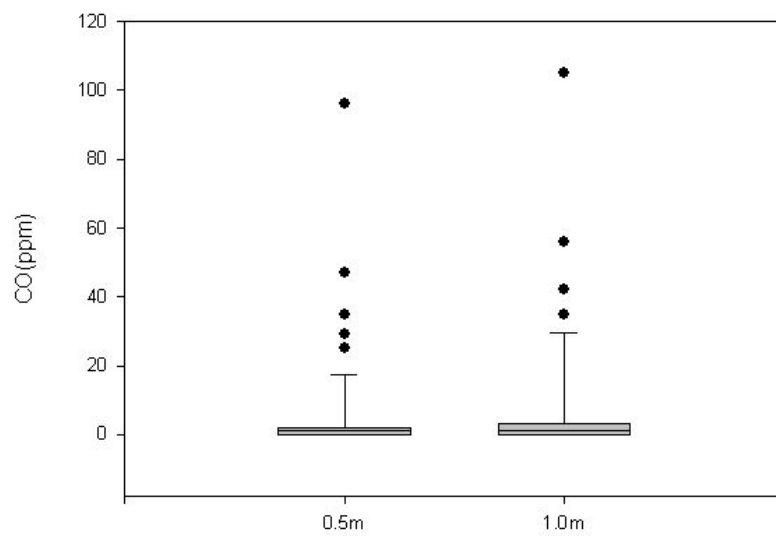
깊이 1 m에서는 일산화탄소가 평균 7.2 ppm (범위 0~105 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 18.1 ppm (범위 0~145 ppm), 황화수소가 평균 11.2 ppm (범위 0~315 ppm), 폭발하한값이 평균 5.2 % (범위 0~25 %), 산소농도가 평균 20.1 % (범위 8.7~20.9 %)를 나타내었다.

0.5 m와 1 m 깊이에서의 측정결과를 대상으로 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 두 깊이의 값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

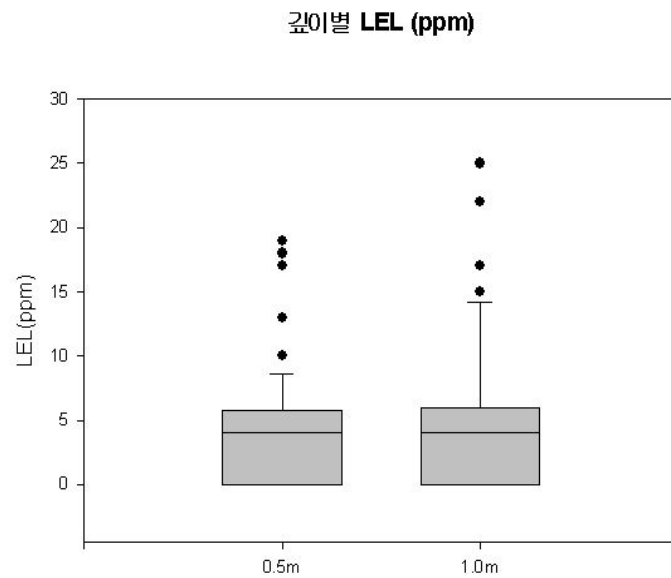
〈표 v-20〉 깊이별 발생가스 농도

깊이	시료수	구분	CO (ppm)	VOC(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
0.5m	n=56	최소	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2
		최대	96.0	154.0	315.0	19.0	20.9
		평균	5.6	12.4	7.4	4.2	20.2
1m	n=46	최소	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
		최대	105.0	145.0	315.0	25.0	20.9
		평균	7.2	18.1	11.2	5.2	20.1

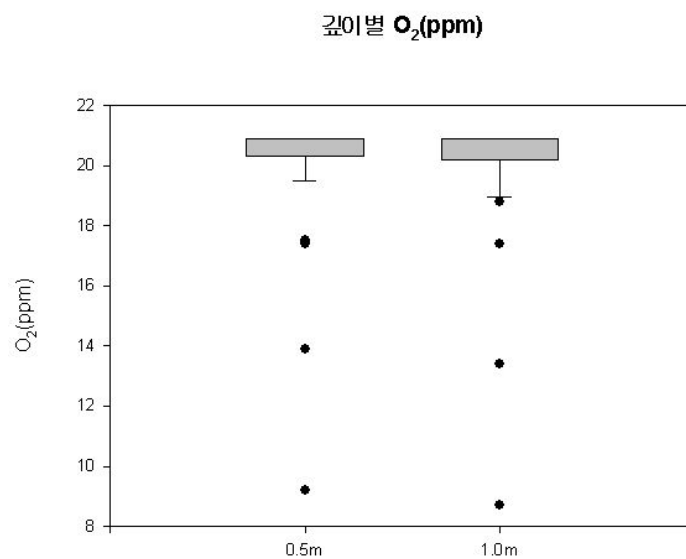
깊이별 CO (ppm)



[그림 v-17] 깊이별 일산화탄소 농도



[그림 v-20] 깊이별 LEL 농도



[그림 v-21] 깊이별 산소 농도

5) 맨홀측정 결과 고찰

경기도 A시에 위치한 맨홀 55개에 대한 실태조사 결과 맨홀 내부의 유해가스 특성은 맨홀의 용도 및 주변지역의 상황에 따라 매우 상이함을 알 수 있었으며 0.5 m와 1 m 깊이에서의 측정결과를 대상으로 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 두 깊이의 값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

우수맨홀에 대한 유해가스 농도의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 거주지역과 공단지역의 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 거주지역과 공단지역 간의 우수맨홀에 대한 유해가스의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 일산화탄소의 경우 $p=0.0012$, LEL(%)은 $p=0.0002$, 산소(%)는 $p=0.003$, 황화수소는 $p=0.03$ 으로 $p<0.05$ 로 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 있음을 알수 있었다.

업종별 일산화탄소 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 3.1ppm (범위 1~11 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 0.2 ppm (범위 0~2 ppm), 염색단지에서는 전혀 검출되지 않았다. 제지공장에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm), 하수종말처리장에서는 평균 157.5 ppm (범위 0~315 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm) 수준이었다.

업종별 휘발성유기화합물 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 19.3 ppm (범위 2.6~145 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 3.0 ppm (범위 0.1~10.1 ppm), 염색단지에서는 평균 58.7 ppm (범위 8.6~154 ppm)로 검출되었다. 제지공장에서는 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm), 하수종말처리장에서는 평균 53.9 ppm (범위 2.3~111 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm) 수준이었다. 휘발성유기화합물은 염색단지에서 평균 58.7ppm, 최대농도 154 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었고 하수종말처리장에서도 평균 53.9 ppm, 최대농도 111 ppm으로 높았다.

업종별 황화수소 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 27.4ppm (범위 0~203 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 0.2 ppm (범위 0~2 ppm), 염색단지에서는 전혀 검출되지 않았다. 제지공장에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm), 하수종말처리장에서는 평균 157.5 ppm (범위 0~315 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm) 수준이었다. 황화수소는 하수종말처리장 유입관거에서 가장 높게 검출되었고 타 업종에서는 대부분 낮은 농도로 발생하였는데 도금단지의 한 맨홀에서 203ppm을 보이는 사례가 있었다.

업종별 폭발하한값 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 8.2 % (범위 4~23 %), 식료품 제조업에서는 평균 8.4 % (범위 4~15 %), 염색단지에서는 평균 7.8% (범위 4~19 %)로 검출되었다. 제지공장에서는 평균 4.0 % (범위 0~8 %), 하수종말처리장에서는 평균 6.7 % (범위 0~14 %), 화학제품제조업에서는 평균 4.0 % (범위 0~8 %) 수준이었다. 폭발하한 값 농도는 업종별로 유사하게 분포하고 있었다.

업종별 산소 농도를 살펴보면 도금공정에서 평균 20.4 % (범위 20.1~20.9 %), 식료품 제조업에서는 평균 20.1 % (범위 19.0~20.9 %), 염색단지에서는 평균 19.3 % (범위 13.4~20.9 %)로 검출되었다. 제지공장에서는 평균 20.0 % (범위 17.4~20.9 %), 하수종말처리장에서는 평균 14.9 % (범위 8.7~20.9 %), 화학제품제조업에서는 평균 20.6 % (범위 20.4~20.9 %) 수준이었다. 산소 농도는 하수종말처리장 유입관거 맨홀에서 최저 8.7 %까지 농도가 감소하였으며 염색단지에서도 13.4 %까지 낮았다.

이번 실태조사에서는 지하에 연결되어 있는 맨홀 내부를 측정하지 못하고 지상으로 연결되는 통로를 대상으로 측정이 이루어졌는데 이는 또한 작업자들이 맨홀 내부 작업 시 작업 전 유해가스 농도의 측정을 사실상 맨홀 입구에서 실시할 경우 맨홀 내부의 유해가스 농도를 명확히 알 수 없는 한계점이 있음을 알 수 있었다. 따라서 맨홀 내 질식재해의 예방을 위해서는 먼저, 맨홀 작업자의 경우 작업 전 유해가스 농도 측정과 아울러 산소 및 유해가스 농도

측정기를 직접 착용하고 작업에 임하여야 할 것이다.

두 번째로는 맨홀 내 작업근로자의 경우 약 67 %가 건설일용직 근로자로 작업 전 밀폐공간에 대한 가스농도측정, 환기, 출입금지 표지, 감시인배치 등에 대한 작업절차에 대한 안전보건 교육이 매우 부족함을 알 수 있었다. 이는 지방자치단체 공사를 담당하는 기관을 대상으로 공사 발주 전 작업자에 대한 교육 필증이 완료된 작업자만이 작업에 임할 수 있는 시스템을 갖추어야 할 것이다.

세 번째로 맨홀의 경우 일반 작업장과 달리 밀폐공간에 대한 경고를 미리 부착하지 못하여 작업자에 대한 위험성 인지가 부족한 점을 들 수 있다. 따라서 맨홀덮개에 밀폐공간에 대한 경고를 할 수 있는 조치가 필요함을 알 수 있다.

2. 오폐수처리장

오폐수처리장은 생활하수 및 산업폐수 등을 처리하는 시설로 하수종말처리장, 제조 사업장의 폐수처리장, 아파트 등 주거지역의 오수처리장 및 부패조 등을 말하며 1999년부터 2007년까지 오폐수처리장에서의 재해사례를 살펴보면 다음과 같은 작업을 위해 오폐수처리장 출입 시 재해가 발생하였다.

- 오폐수처리장 침전지 내 슬러지 제거작업
- 오폐수처리장 침전지 슬러지 제거 스크레퍼 고무시트 교체공사
- 오폐수처리장 유입스크린 이물질 제거
- 하수종말처리장 집수조 준설공사
- 폐수처리조 내 레벨 센서 조정
- 폐수처리장 폭기조 재가동 상태 확인
- 오수정화조 배수펌프 또는 방류펌프 등의 교체 및 정기점검
- 아파트 오수처리장 정기점검
- 쓰레기매립장 지하침출수 집수조 내 수중모터 인양작업

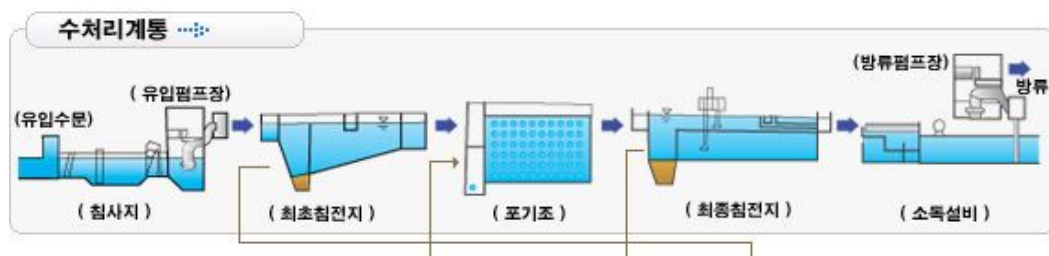
1) 실태조사 대상

이번 실태조사에서는 하수종말처리장의 유입조, 최초 침전지, 농축조, 저류조에 대해 유해가스 발생농도 측정을 실시하였고 오수정화조(부패조)의 슬러지 제거작업 및 일반 사무실 건물 지하의 폐수처리장에서 발생하는 유해가스에 대한 농도를 측정하였다. 각 처리장의 처리용량, 처리방식 등은 <표 IV-12>와 같다.

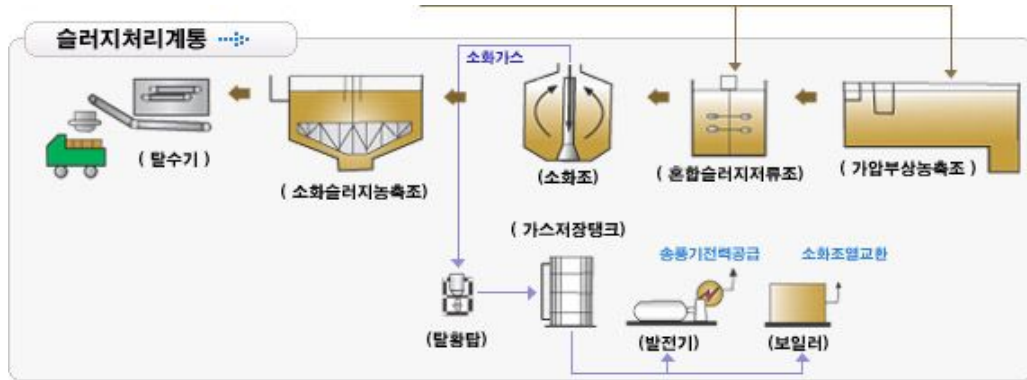
〈표 V-21〉 오폐수처리장 개요

	처리장 A	처리장 B	처리장 C
건물용도	하수종말처리장	상가오피스텔	사무실 빌딩
처리장 위치	지상 1층	지하 2층	지하 2층
처리용량	534,000톤/일	저장용량 약 75톤	
처리방식	생물학적 고도처리 (침전-폭기-농축-소화-탈수)	부패조	생물학적 처리 (침전-폭기-농축)

처리장 A는 A시의 하수종말처리장으로 인근 공단지역의 폐수와 생활하수를 분리 처리하고 있었다. 생활하수와 공장폐수가 제일 먼저 들어오는 유입장, 하수 중 부유물질과 침전 가능한 고형물을 제거시켜 폭기조로 유입시키는 최초 침전지, 호기성미생물을 이용하여 유기물을 분해하고 하수를 처리하는 폭기조, 폭기조에서 처리된 하수를 상등액과 활성 슬러지로 분리하는 최종 침전지, 수처리 과정에서 발생한 슬러지를 중력 침강시켜 부피를 감소시키고 농도를 높여주는 농축조, 하수 슬러지를 혐기성 미생물 작용으로 가스화 하여 안정화, 감량화 시키는 소화조, 탈수작업을 위해 수분을 최소화하고 폐수를 저장하는 저류조, 농축된 슬러지를 탈수작업으로 부피와 무게를 감소시켜 케이크로 만드는 탈수작업으로 이루어진다.



[그림 V-22] 수처리 계통도



[그림 v-23] 슬러지 처리 계통도



[그림 v-24] 최초 침전지



[그림 v-25] 농축조

처리장 B의 경우 13층 높이의 건물로 지하 1층에서 6층까지 상가가 입주하여 있고 6층 이상은 사무실로 이용하고 있다. 지하 2층에 위치한 부패조에서 1년 동안 오수 슬러지를 저장하였다가 슬러지 제거작업을 실시하며 연간 약 75톤 분량의 슬러지를 처리한다. 슬러지 청소작업은 옥외의 정화조 차량에서 호스를 배관을 따라 내린 후 펌핑하여 수거하며 펌핑작업 시 고형물이 배관에 막히지 않도록 작업자 1~2인이 막대로 지속적으로 쳐어주게 된다. 이 때 유해가스 발생이 최고농도에 이르게 된다

처리장 C의 경우, 약 상주근로자 300여명이 근무하는 사무실 건물로 유입 Screen조, 유량조정조, 폭기조, 침전조, 농축조로 이루어져 있다. 가동시간은 오후 18:00~다음날 08:00까지로 퇴근시간 이후에 가동이 이루어지고 있다. 가동시간이 18:00 이후인 이유는 가동 중 발생하는 악취로 사무실 근로자들의 근무에 방해를 주지않기 위함이다. 침전지 내 슬러지는 연간 1회 회수수거를 실시한다.



[그림 v-26] 처리장 B



[그림 v-27] 처리장 B

2) 측정방법

측정은 슬러지 저장조에 슬러지 높이에 따라 Tygon Tube를 내려서 측정하였으며 측정기의 내부 펌프를 통해 채취된 공기(분당 400cc 채취)의 가스 농도를 직독식 가스농도 측정기(Multi Rae, USA)를 사용하여 분석하였다.

측정장비는 직독식 유해가스 농도측정기로 산소농도, 황화수소, 가연성가스(메탄가스), 휘발성유기화합물, 일산화탄소, 염소, 시안화수소, 암모니아, 포스핀을 측정할 수 있는 기구이다. 측정은 작업시간동안 실시간으로 모니터링하였다. 처리장 A의 경우 유입맨홀, 최초침전지, 농축조, 2차 농축조, 저류조에 대해 측정하였다. 처리장 B의 경우 부패조에서 슬러지 펌핑 작업 시 농도를 측정하였고 처리장 C의 경우 폭기조에서의 재가동 시간에 농도를 측정하였다.



[그림 v-28] 측정장비 및 교정가스

〈표 V-22〉 측정가스

연번	종 류	측정범위	분해능	응답시간
1	O ₂	0~30 % 또는 그 이상	0.1 % 이하	15초 이내
2	가연성(LEL)	0~100 %	1 % 이하	15초 이내
3	VOC	0~200 ppm	0.1 ppm 이하	10초 이내
		200~2,000 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	10초 이내
4	CO	0~500 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	20초 이내
5	H ₂ S	0~100 ppm 또는 그 이상	1 ppm 이하	30초 이내

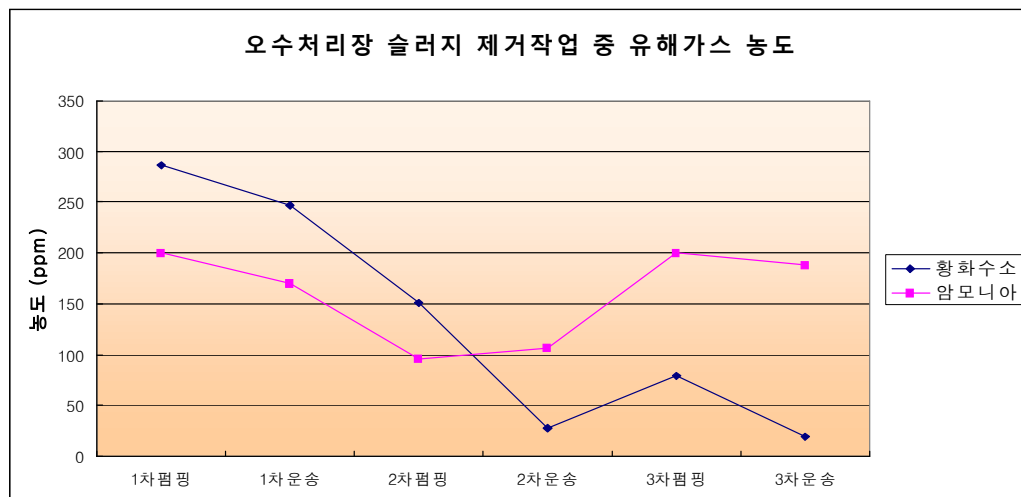
3) 측정결과

유해가스 발생농도를 살펴보면 처리장 A의 경우 유입맨홀에서는 황화수소가 최대 278.9 ppm, 휘발성유기화합물이 17.8 ppm 검출되었고, 최초 침전지에서는 황화수소 12.0 ppm, 농축조에서는 황화수소 320.1 ppm, 휘발성유기화합물이 7.2 ppm 검출되었다. 2차 농축조에서는 황화수소 272.6 ppm, 휘발성유기화합물이 4.9 ppm 검출되었다. 2차 농축조에서는 황화수소 농도가 다소 감소한 반면 폭발하한값(%)이 6.3%로 발생하였다. 저류조에서는 황화수소 500 ppm 으로 측정기기의 최고 측정가능 농도에 이르렀고, 휘발성유기화합물이 54.3 ppm 검출되었다.

〈표 v-23〉 처리장 A_하수종말처리장 유해가스 농도 측정결과

측정장소	구분	CO(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)
유입 맨홀	평균	39.8	198.8	0.0	20.3
	최대값	42.7	278.9	0.0	20.5
최초 침전지	평균	35.4	9.2	0.0	20.9
	최대값	36.9	12.0	0.0	20.9
농축조	평균	35.4	153.6	0.0	20.9
	최대값	36.9	320.1	0.0	20.9
2차 농축조	평균	35.6	157.5	3.7	20.9
	최대값	36.9	272.6	6.3	20.9
저류조	평균	38.5	500.0	7.1	20.0
	최대값	40.6	500.0	8.4	21.4

하수종말처리장에서 가장 고농도를 나타내었다. 하수종말처리장에서는 측정장소에서 대부분의 농도가 측정기의 측정범위를 벗어나 정확한 측정농도를 알 수 없는 한계점이 있었다.



[그림 v-29] 처리장 B_옥내 부패조 유해가스 농도 측정결과

처리장 B의 경우, 슬러지가 펌핑되는 시간과 슬러지를 하수종말처리장에 운송하는 시간을 나누어 실시하였다. 1차 펌핑 작업 시 최고농도 황화수소 287 ppm, 암모니아 200 ppm으로 고농도를 나타내었으나 1차 운송 시 247 ppm, 169.7 ppm, 2차 펌핑 시 151.3 ppm, 95.5 ppm, 2차 운송 시 28 ppm, 106.4 ppm, 3차 펌핑 시 78.7 ppm, 200 ppm, 3차 운송 시 19.4 ppm, 187.9 ppm으로 점차 감소하는 형상을 띄었다.

〈표 V-24〉 처리장 B_옥내 부패조 유해가스 농도 측정결과

작업내용	구분	CO(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)	NH ₃ (ppm)
전체	평균	1.0	13.0	0.4	20.4	101.3
	최대값	45.8	28.7	100	20.9	200.0
1차 펌핑 (50분 소요)	평균	6.3	45.1	3.2	20.1	74.8
	최대값	45.8	287	100	20.9	200.0
1차 운송 (1시간 30분 소요)	평균	0	4	0	20.4	73.8
	최대값	2	247	0	20.6	169.7
2차 펌핑 (20분 소요)	평균	4.3	51.8	0	20.2	51.8
	최대값	11.9	151.3	0	20.5	95.5
2차 운송 (1시간 10분 소요)	평균	0.2	5.5	0	20.4	75.3
	최대값	46	28	0	20.5	106.4
3차 펌핑 (30분 소요)	평균	0	22.2	0	20.4	134.5
	최대값	0.5	78.7	0	20.6	200
3차 운송 (1시간 20분 소요)	평균	0	2.6	0	20.5	158.9
	최대값	0	19.4	0	20.6	187.9

처리장 C의 경우, 폭기조에서 황화수소 69.3 ppm, 휘발성유기화합물이 5.4 ppm 검출되었다.

〈표 V-25〉 처리장 C_옥내 폭기조 유해가스 농도 측정결과

측정장소	CO(ppm)	H2S(ppm)	LEL(%)	O2(%)
유입맨홀	1.1	69.3	0	20.4

4) 측정결과 고찰

오폐수처리장의 경우 질식재해는 침전지 내 슬러지 제거작업, 유입스크린 이물질 제거, 처리조 내 레벨 센서 조정, 배수펌프 또는 방류펌프 등의 교체 및 정기점검 등의 작업 중 발생하였음을 알 수 있었다. 또 오폐수처리장은 폐수의 성상, 단순저장법(부패조)·활성오니법·소화처리법 등 처리방식과 정상 작업·슬러지 제거작업 등 작업내용에 따라 유해가스의 농도수준이 상이함을 알 수 있었다

오폐수처리장의 실태조사 결과 주요 유해가스는 황화수소와 암모니아로 활성 오니법 및 소화처리법을 병행하는 하수종말처리장의 경우, 황화수소 농도가 저류조에서 최고 500 ppm, 농축조에서 320 ppm, 유입맨홀에서 278 ppm 등 고농도를 나타내었으며, 암모니아 농도는 저류조에서 145 ppm, 농축조에서 12.9 ppm를 나타내었다. 단순저장법(부패조)으로 처리하는 옥내 정화조에서는 슬러지 제거작업 시 황화수소 농도 200~300 ppm, 암모니아 농도 200 ppm으로 하수종말처리장에 비해 암모니아 농도가 매우 높음을 알 수 있었다. 반면 활성 오니법으로 정상운전 중인 옥내 오수처리장의 경우 황화수소 농도 69.3 ppm, 암모니아 13.9 ppm의 농도로 나타났다

오폐수 처리장의 경우 고농도의 유해가스 발생으로 질식재해가 발생할 수 있는 작업장소임에도 통상 밀폐공간이라는 용어에 비추어볼 때 개방된 공간으로 작업자들의 위험성 인지도가 낮은 것을 알 수 있었다. 그러나 대부분의 오폐수처리장 오수 저장 및 처리시설 내부에서는 황화수소 및 암모니아가 매우

높은 농도로 정체되고 있으므로 작업자들에게 밀폐공간의 인식과 대책에 대해 주지되어야하며 시설의 수리 등 인력의 내부투입작업 시에는 매우 엄격한 위험성 평가를 실시하고 관리자에 의한 통제가 이루어져야 한다.

3. 단무지 제조업

절임식품인 단무지는 저렴한 가격과 자극성이 적은 맛으로 우리 가정에 친숙한 제품이다. 보통 무에 비해 가늘고 긴 남중국 계통의 무를 8월 중순과 하순에 파종하여 서리가 내리는 시기가 오기 전에 수확한다. 수확된 단무지는 소금절임하여 부드럽게 한 후 저장조에 소금, 쌀겨와 무를 번갈아 한켜씩 빈틈없이 눌러 담은 다음 나무, 돌 등으로 눌러서 수개월 숙성·발효시킨다. 숙성된 단무지는 탈염조에서 염분농도를 맞춘 후 색소, 감미료 등으로 맛을 내게 된다. 단무지의 향미는 무가 익는 동안 효모나 세균의 작용을 받아서 생기는데 무우 속에는 methylthiol(CH_3SH), alkylisothiocyanate($\text{R-N}=\text{C}=\text{S}$) 및 alkyl sulfide(R-S-R') 등 황성분이 유기황의 형태로 많이 포함되어 있다. 이러한 유기황들은 제조공정에서 미생물에 의해 분해되어 황화수소를 발생시키는 것으로 알려져 있다.

〈표 V-26〉 단무지 제조공정

공정명	작업내용
절임	단무지용 무를 세척 후 소금을 첨가하여 물과 함께 절임.
저장	절인 무 40cm+소금을 번갈아 한켜씩 빈틈없이 염적탱크에 가지런히 저장함. 저장조 위를 나무, 돌 또는 콘크리트로 압착시킨 후 천막천을 덮어 밀폐시킨 후 수개월간 숙성·발효함.
탈염	약 1년간 보관된 무를 탈염조에 넣어 물로 희석하면서 염분농도를 맞춤.
탈피 및 절단	껍질 및 잔뿌리를 제거하고 제품의 특성에 맞도록 자르고 세척.
조미	자른 무에 색소, 설탕, 향료 등과 혼합하여 맛이 베이도록 함.
포장 및 출하	맛과 향을 검사 후 진공살균포장하여 7~15일 숙성 후 출하.



단무지 저장조



단무지 운송용 포크레인



탈염작업



탈염조



가공



포장

[그림 v-30] 단무지 제조과정

1) 실태조사 대상

이번 실태조사에서는 국내 최대 단무지 제조사 2개소를 대상으로 저장조의 상태 및 작업형태를 고려하여 측정을 실시하였다. 측정 당시 단무지는 전년도 11월에 저장되어 약 7개월 이상 숙성된 상태였으며 단무지를 저장하는 상태, 저장조에서 출고하는 작업, 출고된 상태의 저장조, 탈염작업에 대하여 측정을 실시하였다. 단무지 저장조는 크기가 매우 다양하였으나 깊이는 모두 일정하였다.

'A' 사업장의 경우 모든 저장조가 옥외에 설치되어 있었다. 저장된 단무지는 저장조 약 1m 아래부터 저장 중이었고 나무 또는 콘크리트로 압착한 후 천막천을 덮어 밀폐시킨 형태로 보관 중이었다.

'B' 사업장의 경우 모든 저장조는 옥외에 설치되어 있었으나 지붕이 있어 햇빛을 가리는 구조였으며 단무지를 저장조 바로 입구까지 쌓은 후 비닐, 담요, 천막으로 3중 덮개가 설치되어 있었다.

〈표 V-27〉 단무지 제조사업장 개요

	'A' 단무지 제조업	'B' 단무지 제조업
위치	강원도 원주시	충남 연기군
생산량	3,600톤/년	90,000톤/년
저장조	19개	130개
저장조 크기	L 6m * W 4m * H 4m	L 4.5m * W 4.5m * H 3.5m
작업형태	- 단무지 저장상태 - 출고된 상태의 저장조 - 탈염작업	- 단무지 저장상태 - 저장조에서 출고하는 작업

2) 측정방법

측정은 저장조에 단무지 보관 높이에 따라 Tygon Tube를 내려서 측정하였으며 측정기의 내부 펌프를 통해 채취된 공기(분당 400cc 채취)의 가스 농도를 직독식 가스농도 측정기(Sentry Rae, USA)를 사용하여 분석하였다. 측정장비는 직독식 유해가스 농도측정기로 산소농도, 황화수소, 가연성가스(메탄가스), 휘발성유기화합물, 일산화탄소를 측정할 수 있는 기구이다. 동 측정기는 맨홀 실태조사 시 사용한 측정기와 동일기종이며 특징 및 분석조건 등은 그와 동일하다.

‘A’ 사업장의 경우 단무지를 저장하는 상태, 출고된 상태의 저장조, 탈염 작업에 대하여 실시하였는데 작업이 진행되고 있는 상태가 아닌 정상상태에서 깊이별로 약 5분간 측정을 실시하였다.

‘B’ 사업장의 경우 단무지를 저장하는 상태에 대한 측정은 단무지가 저장조 입구까지 가득 저장되어있어 불가능하였다. 단무지를 출고하는 작업에 대한 측정은 한 저장조를 모두 비어내는 작업 전 시간에 대해 측정하였다. 출고 작업은 약 2시간 동안 실시되었다.

3) 측정결과

유해가스 발생농도를 살펴보면, 3m에서는 일산화탄소 505.2 ppm, VOCs 90.0 ppm, 황화수소 316 ppm, LEL 18.7%, 산소 15.7%로 검출되어 깊이에 따라 농도가 높아짐을 알 수 있었다. 저장중인 단무지 저장고에서는 1m에서는 일산화탄소 37.6 ppm, VOCs 9.9 ppm, 황화수소 40.7 ppm, LEL 6.0 %, 산소 20.5 %로 검출되었으며, 2m에서는 일산화탄소 91.3 ppm, VOCs 52.0 ppm, 황화수소 114.1 ppm, LEL 10.3 %, 산소 20.4 %로 검출되었다.

빈 저장고인 경우 1m에서는 일산화탄소 1.8 ppm, VOCs 1.4 ppm, 황화수소 11.3 ppm, LEL 3.5 %, 산소 20.9 %로 검출되었으며, 2m에서는 일산화탄소

4.8 ppm, VOCs 0.7 ppm, 황화수소 9.3 ppm, LEL 3.4 %, 산소 20.6 %로 검출되었으며, 3m에서는 일산화탄소 12.0 ppm, VOCs 0 ppm, 황화수소 10.0 ppm, LEL 3.3 %, 산소 20.6 %로 검출되었다. 빈 저장고의 경우, 인접한 저장고에 아직 단무지가 남아있는 경우 빈 저장고로 유해가스가 이동하여 검출된 것으로 보인다

탈염조의 경우 1 m에서는 일산화탄소 0 ppm, VOCs 3.3 ppm, 황화수소 5 ppm, LEL 0 %, 산소 20.9 %로 검출되었으며, 2m에서는 일산화탄소 0 ppm, VOCs 4.2 ppm, 황화수소 7 ppm, LEL 0 %, 산소 20.9 %로 검출되었으며, 3m에서는 일산화탄소 0 ppm, VOCs 4.9 ppm, 황화수소 8 ppm, LEL 0 %, 산소 20.9 %로 유해가스가 거의 발생하지 않았다.

‘B’ 사업장의 경우 출고중인 저장고에서 단무지를 트럭으로 담기 쉽도록 옆 저장고로 옮기는 작업에서는 일산화탄소 5.1 ppm, VOCs 6.8 ppm, 황화수소 46.2 ppm, LEL 0 %, 산소 20.7 %로 검출되었는데 측정은 옆 저장고로 옮기는 총 2시간 동안 실시시간으로 측정되었으며 상기 농도는 측정시간 중 최고농도를 나타내는 것이다.

단무지를 트럭에 담는 작업에서는 1m에서는 일산화탄소 20.0 ppm, VOCs 43.3 ppm, 황화수소 30.7 ppm, LEL 2.1 %, 산소 20.6 %로 검출되었으며, 2m에서는 일산화탄소 35.2 ppm, VOCs 78.2 ppm, 황화수소 154.9 ppm, LEL 3.4 %, 산소 20.4 %로 검출되었다.

〈표 V-28〉 'A' 단무지 제조사업장 측정결과

작업형태	측정높이 (상부_m)	측정 중 최대농도(Max)				
		CO (ppm)	VOC (ppm)	H ₂ S (ppm)	LEL (%)	O ₂ (산소) (%)
출고중 저장고	1.0	23.1	64.0	125.3	7.7	19.8
	2.0	135.2	64.4	316.0	14.2	17.8
	3.0	505.2	90.0	316.0	18.7	15.7
단무지 저장중 저장고	1.0	37.6	9.9	40.7	6.0	20.5
	1.5	91.3	52.0	114.1	10.3	20.4
빈 저장조	1.0	1.8	1.4	11.3	3.5	20.9
	2.0	4.8	0.7	9.3	3.4	20.6
	3.0	12.0	0	10.0	3.3	20.6
탈염조	1.0	0	3.3	5	0	20.9
	2.0	0	4.2	7	0	20.9
	3.0	0	4.9	8	0	20.9

〈표 V-29〉 'B' 단무지 제조사업장 측정결과

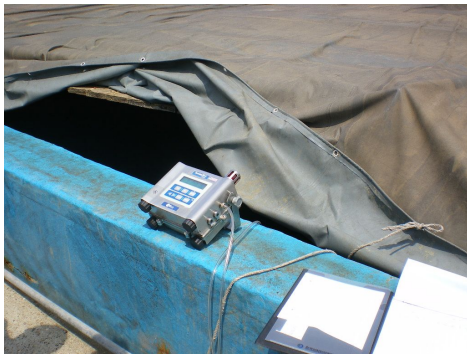
작업내용	측정깊이 (상부_m)	측정중 최대농도(Max)				(Min)
		CO (ppm)	VOC (ppm)	H ₂ S (ppm)	LEL (%)	O ₂ (산소) (%)
단무지가 약 1.5m 남은 상태에서 트럭으로 담는작업	2.0	35.2	78.2	154.9	3.4	20.4
	1.0	20.0	43.3	30.7	2.1	20.6
단무지를 옆 저장조로 옮기는 작업	0.5m ~ 2m	5.1	6.8	46.2	0	20.7
오이지 저장조	2.0	175.7	6.3	3.4	3.8	20.5



옥외저장조



단무지 이송 크레인



측정장비



출고 중 저장조



저장 중 단무지



빈 저장조

[그림 v-31] 'A' 단무지 제조사업장 측정사진

4) 측정결과 고찰

단무지 저장조의 유해가스 발생 농도수준을 단무지를 출하하는 과정, 일부 단무지 출하후 저장되어 있는 상태, 출하되지 않고 저장되어 있는 상태, 빈 저장조, 탈염작업 등으로 나누어 살펴보았다. 측정결과 일부 단무지를 출하후 저장하는 상태의 깊이 3m에서는 일산화탄소 505.2 ppm 이상, VOCs 90.0 ppm, 황화수소 316 ppm 이상, LEL 18.7%, 산소 15.7%로 가장 높은 농도가 검출되었으며 깊이에 따라 농도가 높아짐을 알 수 있었다.

일산화탄소와 황화수소 농도의 경우 측정범위의 최대농도까지 측정이 되었으며 황화수소의 경우 300ppm은 미국 국립산업안전보건연구원 (NIOSH)의 즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도(Immediately Dangerous to Life and Health)에 해당된다

단무지의 향미는 무가 익는 동안 효모나 세균의 작용을 받아서 생기는데 무우 속에는 methylthiol(CH_3SH), alkylisothiocyanate($\text{R}-\text{N}=\text{C}=\text{S}$) 및 alkyl sulfide($\text{R}-\text{S}-\text{R}'$) 등 황성분이 유기황의 형태로 많이 포함되어 있다. 이러한 유기황들은 제조공정에서 미생물에 의해 분해되어 황화수소를 발생시키는 것으로 추정된다.

단무지 저장조는 옥외에 설치된 경우가 많은데 덮개를 개방시 저장조는 넓은 개구부가 형성되어 작업자가 밀폐공간임을 인지하지 못할 우려가 많다. 또한 사업장에서는 저장조 진입시 물청소 등에 의한 가스치환을 실시하고 가스 측정을 실시하지 않는 경우가 많은데 저장조 진입시 반드시 가스측정을 실시하여야 한다.

5. 선박 (바지선)

바지는 자체 추진능력이 없으므로 Tug에 의해 예항(Towing) 혹은 압항(Pushing)되어 이동하며, 연안 및 하천 등지에서 여러 가지 용도로 사용된다. 선체는 부력을 발생시키는 역할만 하고 화물은 상갑판 위에 싣는 것을 Deck Barge, 상갑판 없이 선체가 그릇과 같은 형태로 되어 그 안에 화물을 담는 Hopper Barge 그리고 선체 자체가 탱크로 이루어져 그 내부에 액체화물을 싣는 Tank Barge 등으로 구분 할 수 있다.

바지선에서 재해사례를 살펴보면 다음과 같은 작업 도중 재해가 발생하였다.

- 공기부력탱크 내부확인 및 탱크 청소 작업
- 공기부력탱크 내 고인 빗물 등 제거를 위한 양수작업
- 원목 또는 석탄 운반선 선창

1) 실태조사 대상

이번 실태조사에서는 인천 남동항에 위치하고 있는 바지선 7척에 대해 실태조사를 실시하였다. 크레인 바지선 2척과 Hopper 바지선 5척에 대해 실태조사를 실시하였다. 크레인 바지선인 A와 B는 선두에 크레인이 설치되어 있어 크레인으로 들어올리는 물체의 무게에 따른 균형유지를 위해 맨홀 내에 물을 채우기도하고 비우기도 하는 작업을 실시한다. 맨홀은 선두에 4개 선미에 2개로 일반 바지선에 비해 수량이 적은 편이다. 크레인 바지선 2척은 모두 일본에서 수입한 바지선으로 맨홀 내부에 도장작업이 깨끗이 실시되어 있었다. Hopper 바지선인 바지선 C ~ G 5척은 대부분 모래 및 자갈 등을 실어나르는 바지선

으로 바지선 바닥 전체공간이 분할되어 약 20개의 공간으로 나누어진 형태이며 각 공간별로 맨홀덮개가 있어 출입이 가능하거나 또는 작업공간과 이동통로를 통해 연결되어 있는 경우도 있었다. 바지선 F의 경우는 매우 노후된 상태로 바지선 하부공간을 가로막는 벽체가 소실되어 3개의 공간으로만 분리되어 있었다.

〈표 v-30〉 측정대상 바지선의 형식

구분	용도	용량	크기	제조년도	맨홀보유수량
바지선 A	크레인 바지	150톤급	-	-	6
바지선 B	크레인 바지	-	-	-	6
바지선 C	Hopper 바지	-	15m*48m	-	24
바지선 D	Hopper 바지	-	-	-	16
바지선 E	Hopper 바지	-	-	-	20
바지선 F	Hopper 바지	-	-	-	3
바지선 G	Hopper 바지	-	-	-	24

2) 측정방법

측정은 바지선의 맨홀 중 개방시기가 가장 늦은 맨홀을 선택하여 맨홀을 개방한 후 측정하였으며 맨홀의 깊이를 측정하여 바닥지점까지 Tygon Tube를 내려서 가장 맨홀 개방구에서 가장 낮은 지점을 측정하였다. 측정기의 내부 펌프를 통해 채취된 공기(분당 400cc 채취)의 가스농도를 직독식 가스농도 측정기(Multi Rae, USA)를 사용하여 분석하였다. 측정을 실시하는 동안에는 맨홀덮개를 덮어 가스가 치환되는 것을 방지하였고 측정농도가 정상상태에 이를 때까지 측정을 실시하였으며 바지선 맨홀의 경우는 일반적으로 약 5분의 시간 경과 후에는 측정결과에 변이가 없이 일정한 농도 값을 나타내었다. 측정

장비는 직독식 유해가스 농도측정기로 산소농도, 황화수소, 가연성가스(메탄가스), 휘발성유기화합물, 일산화탄소, 염소, 시안화수소, 암모니아, 포스핀을 측정할 수 있는 기구이다. 측정기의 특성 및 측정조건은 오펜수처리장과 동일하다.

3) 측정결과

바지선 A의 경우 선두에 위치한 맨홀을 개방하여 측정하였으며 약 1년여 만에 처음 개장하는 맨홀이었다. 맨홀 내부의 도장상태는 매우 양호하였으며 내부에 수분이나 기타 오염물질은 존재하지 않았다. 측정결과 일산화탄소 농도 0 ppm, 황화수소 0 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 20.9 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0.2 ppm, 시안화수소 0.3 ppm, 암모니아 0.2 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되었다.

바지선 B는 선두와 선미 두 곳의 맨홀을 측정하였으며 측정결과 선두에서는 일산화탄소 농도 7.2 ppm, 황화수소 0.4 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 19.1 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0 ppm, 시안화수소 0 ppm, 암모니아 0 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되었다. 선미에서는 일산화탄소 농도 14.5 ppm, 황화수소 0.4 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 19.4 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0 ppm, 시안화수소 0 ppm, 암모니아 0 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되어 선두와 유사하였다.

바지선 C는 모래운반선으로 측정결과 일산화탄소 농도 0 ppm, 황화수소 0 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 15.9 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0 ppm, 시안화수소 0 ppm, 암모니아 0.7 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되었다. 측정된 바지선 중 가장 낮은 산소농도를 보였는데 불과 3개월 전에 맨홀을 패쇄하였음에도 맨홀 내부는 매우 부식되어 있었고 바닷물이 침투하여 바닥에 물이 고여 있었다.

바지선 D는 부력탱크 내부가 심하게 부식된 상태였으나 이미 맨홀이 개방되어

있었다. 개방된 상태로 수일이 지나 일반 대기 중 공기와 크게 상이하지 않았다. 바지선 E는 맨홀 덮개는 씌워있었지만 볼트 체결이 되어 있지 않아 외부공기가 내부로 다소 유입되는 형태였다. 측정결과 일산화탄소 농도 1.5 ppm, 황화수소 0.4 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 20.0 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0 ppm, 시안화수소 0 ppm, 암모니아 0 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되었다.

바지선 F는 수개월만에 맨홀을 개방하는 것으로 맨홀 내부는 매우 부식되어 있었고 부식으로 인해 맨홀 내부 칸막이가 거의 제거되어 3개의 큰 대 공간으로 존재하고 있었다. 측정결과 좌측 맨홀에서는 일산화탄소 농도 0 ppm, 황화수소 0.4 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 19.0 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0 ppm, 시안화수소 0 ppm, 암모니아 0 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되었다. 우측 맨홀에서는 일산화탄소 농도 0.5 ppm, 황화수소 0.4 ppm, 폭발하한값(LEL) 0 %, 산소 18.3 %, 염소 0 ppm, 휘발성유기화합물 0 ppm, 시안화수소 0 ppm, 암모니아 0 ppm, 포스핀 0 ppm이 검출되었다.

〈표 v-31〉 바지선 측정결과

작업형태	측정높이 (상부_m)	측정 중 최대농도(Max)					
		CO(ppm)	H ₂ S(ppm)	LEL(%)	O ₂ (%)	VOC(ppm)	
바지선 A	3m	0	0	0	20.9	0.2	
바지선 B	1	3m	7.2	0.4	0	19.1	0
	2	3m	14.5	0.4	0	19.4	0
바지선 C	3m	0	0	0	15.9	0	
바지선 D	1m	0	0	0	20.6	0	
	2m	0	0	0	20.5	0	
	3m	0	0	0	20.4	0	
	3m	0	0	0	20.4	0	
바지선 E	3m	1.5	0.4	0	20.0	0	
바지선 F	1	3m	0	0.4	0	19.0	0
	2	3m	0.5	0.4	0	18.3	0
바지선 G	3m	0	0.4	0	19.2	0	



▶ Deck Barge



▶ Hopper Barge

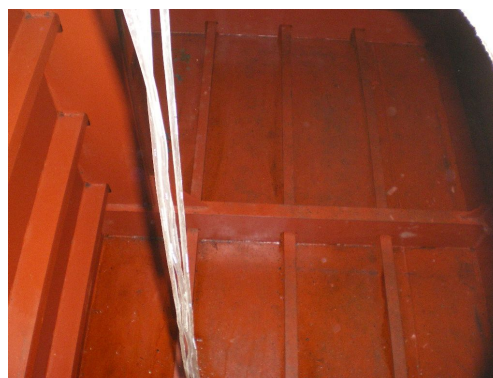
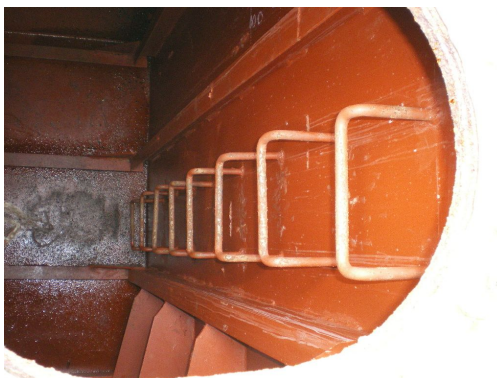


▶ Tank Barge



▶ Tank Barge - Sea Going

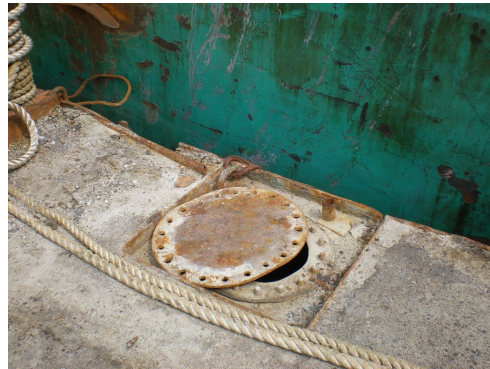
[그림 v-32] 바지선의 종류



[그림 v-33] 바지선 A



[그림 v-34] 바지선 C



[그림 v-35] 바지선 D

4) 측정결과 고찰

바지선에서의 질식재해사고는 공기부력탱크 내부확인 및 탱크 청소 작업, 부력탱크 내 고인 빗물 등 제거를 위한 양수작업 시 산소결핍으로 인해 발생하였음을 알 수 있었으며 바지선의 경우 부력탱크 내부의 부식정도에 따라 유해가스 농도가 상이함을 알 수 있었다.

바지선은 동력선에 견인되어 시멘트, 자갈 등의 중량 물품을 운반하는 무동력선으로 7개 바지선의 부력탱크에 설치된 맨홀 내부에 대한 실태조사 결과 바지선 1개소에서 산소농도가 15.9%로 18% 미만을 나타내었으며 4개 바지선에서는 19.0% ~ 20.0%의 산소농도를 나타내었다. 2개의 바지선에서는 일반 대기조건과 동일한 20.9%를 나타내었다. 바지선 내부의 부력탱크에 부식정도가 심하고 바닥에 누수가 있는 경우 산소농도가 낮음을 확인할 수 있었으며 측정의 대부분이 9월에 이루어져 기온이 약 25℃ 안팎의 선선한 날씨로 기온이 높은 여름철에는 산소농도가 더욱 낮을 것으로 예상되었다.

바지선의 경우 작업자들은 경험에 의존하여 부력탱크 내 작업 시 작업 전 미리 맨홀을 개방하고 촛불을 켜서 불이 꺼지는지의 여부 등을 통해 출입작업을 실시하고 있었으며 밀폐공간보건작업 프로그램은 전혀 이루어지고 있지 않았다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 지방해양항만청 및 바지선협회 등을 통해 계획성있는 연간계획을 수립하고 선주와 작업자를 대상으로 하는 밀폐공간 질식재해 예방 교육을 실시하고 교육필증을 제공하는 등의 방안이 필요함을 알 수 있었다.

VI. 종합 결론

공단에서 발표하는 중대재해조사표에 근거한 질식재해자수는 '99~'07년도의 9년간 연평균 26.3명인데 반하여 산업재해통계의 발생형태 중 산소결핍 항목과 유해화학물질중독 항목의 밀폐공간 발생건수를 집계하면 연평균 밀폐공간 질식재해자수는 39.2명으로 나타났다.

이러한 차이는 공단의 산하기관에서 보고하는 재해는 중대재해사례를 위주로 보고하기 때문이다. 밀폐공간 질식재해는 중대재해로 이어지지 아니한 형태의 재해도 발생하는데 이는 중대재해보고의 대상에 포함되지 않는 것이다.

따라서 밀폐공간 질식재해의 정확한 통계의 작성을 위해서는 중대재해사례에 의존해서는 안되며 다음과 같은 개선이 필요하다.

- 1) 산업재해발생형태의 항목 중 유해화학물질중독 항목을 개방공간과 밀폐공간으로 구분하여야 한다. 그렇게 한 후 산소결핍 항목과 밀폐공간 유해화학물질중독 항목의 건수를 합하면 밀폐공간 질식재해 통계가 정확히 산출될 수 있다. 즉, 질식재해 건수 = 산소결핍재해 건수 + 밀폐공간 유해화학물질중독 건수인 셈이다.
- 2) 기존의 중대재해조사표 서식을 표준화할 필요성이 있다. 현재는 조사표에 발생형태와 기인물의 기재여부는 작성자의 재량에 의지하는 데 발생형태와 기인물을 반드시 기재하도록 서식을 개선하면 질식재해여부를 쉽게 판단할 수 있다. 또한 기인물이 화학적인자일 경우 기인물의 농도가 NIOSH 등에서 정한 IDLH 또는 LC₅₀ 등에 도달하였는지를 반드시 기재하도록 하여야 기인물에 대한 신뢰를 높일 수 있다.

외국의 밀폐공간 질식재해 예방에 관련된 제도와 우리나라의 제도를 비교한 결과 산업안전보건법에서 추가로 도입이 검토되어야 할 내용은 다음과 같다.

1) 밀폐공간 작업의 적극적 회피 및 밀폐공간 여부의 판단

영국과 같이 사업주가 밀폐공간에 근로자를 투입하지 않는 대체 작업을 통해 밀폐공간 작업을 적극적으로 회피할 수 있도록 하는 방안을 선언적으로라고 도입하는 것이 필요하다. 또 미국의 경우처럼 사업주가 관할 작업장에 밀폐공간이 존재하고 있는지를 사전에 파악하고 경고/출입금지 표시를 부착도록 하는 적극적인 기준의 도입검토가 필요하다. 또한 작업장의 형태, 발생가능물질, 작업자 출입여부 등 작업공간의 특성에 관련된 자료를 입력하면 작업장소가 밀폐공간에 해당되는지의 여부를 사업주가 쉽게 판단할 수 있는 프로그램의 개발 보급이 필요하다.

2) 밀폐공간 대상의 결정

한국의 경우 17개의 밀폐공간 장소를 구체적으로 지정하고 있으나 사업주나 근로자가 이해하기에 매우 어려운 내용으로 구성되어 있다. 미국과 영국의 경우처럼 보다 포괄적으로 밀폐공간을 정의하여야 한다.

3) 밀폐공간에 대한 허가절차의 도입

우리나라에서 시행되고 있는 밀폐공간보건작업프로그램은 시행 취지는 미국이나 영국의 제도와 유사하나 산업 현장에서 충분히 받아들여지지 않고 있는 것이 현실이므로 밀폐공간작업에 대한 허가과 밀폐공간프로그램을 동시에 사업주에게 요구하는 보건기준 개정을 추진할 필요가 있다.

인위적으로 선정한 10종의 물질을 밀폐용기에 저장하여 기간별 발생가스를 분석한 결과 백태 저장 밀폐용기 및 오이피클 저장용기에서는 일산화탄소가 최대 135 ppm, 110 ppm으로 발생하였다. 일산화탄소는 그 외에도 양조간장(270

ppm), 목재(123 ppm), 바나나(1,000 ppm 초과) 등의 용기에서도 높게 발생하였다. 단무지, 목재, 바나나를 저장한 용기에서는 산소농도가 0.0 %~0.2 %로서 거의 무산소상태가 형성되었다. 황화수소는 단무지(26.2 ppm)와 목재(19 ppm)의 저장 용기에서 사업장 노출기준인 10 ppm을 초과하였다.

밀폐용기 저장물질에 대한 유해가스 실험 및 문헌연구 결과 식품 또는 식물을 저장하는 장소는 산소가 부족하거나 일산화탄소, 황화수소 등이 발생하는 장소임을 알 수 있었으며, 식물의 구성성분에 황이 함유되어 있을 경우 황화수소가 발생하는 것으로 분석된다.

일부 저장물질의 용기에서 일산화탄소가 과다발생함에 따라 전기화학식 직독식 측정기와 FTIR을 이용한 측정값을 비교실험하였다. 백태 저장용기에서는 FTIR에 비해 전기화학식 측정값이 약 2배 정도로 높고 바나나 저장용기에서의 측정값은 60배 이상으로 과다함에 따라 백태와 바나나 저장용기에서의 전기화학식 측정은 적합하지 않다.

경기도 A시에 위치한 맨홀 55개에 대한 실태조사 결과 맨홀 내부의 유해가스 특성은 맨홀의 용도 및 주변지역의 상황에 따라 매우 상이함을 알 수 있었다.

산소 농도는 하수종말처리장, 염색단지에 위치한 맨홀에서 각각 8.7%, 및 13.4 %로서 낮게 나타났다. 일산화탄소는 염색단지에서 최대 105 ppm으로 높게 발생하였으며, 하수종말처리장(28 ppm) 및 도금단지(11 ppm)에 소재한 맨홀에서도 검출되었다. 휘발성유기화합물은 염색단지, 도금단지, 하수종말처리장 등에 소재한 맨홀에서 각각 154 ppm, 145 ppm, 111 ppm 등으로 높게 나타났다. 황화수소는 하수종말처리장 유입구에서 측정기의 측정범위를 초과하는 300 ppm을 넘어섰으며 도금단지에서도 203 ppm으로 높게 나타났다.

주거지역 오수맨홀에서도 22 ppm 으로 측정되었다.

맨홀작업에 대한 대책과 관련하여, 우선 이번 실태조사에서는 지하에 연결되어 있는 맨홀 내부를 측정하지 못하고 지상으로 연결되는 통로를 대상으로 측정이 이루어졌는데 이는 또한 작업자들이 맨홀 내부 작업 시 작업 전 유해가스 농도의 측정을 사실상 맨홀 입구에서 실시할 경우 맨홀 내부의 유해가스 농도를 명확히 알 수 없는 한계점이 있음을 알 수 있었다. 따라서 맨홀 내 질식 재해의 예방을 위해서는 먼저, 맨홀 작업자의 경우 작업 전 유해가스 농도 측정과 아울러 산소 및 유해가스 농도 측정기를 직접 착용하고 작업에 임하여야 할 것이다.

두 번째로는 맨홀 내 작업근로자의 경우 약 67 %가 건설일용직 근로자로 작업 전 밀폐공간에 대한 가스농도측정, 환기, 출입금지 표지, 감시인배치 등에 대한 작업절차에 대한 안전보건 교육이 매우 부족함을 알 수 있었다. 이는 지방자치단체 공사를 담당하는 기관을 대상으로 공사 발주 전 작업자에 대한 교육필증이 완료된 작업자만이 작업에 임할 수 있는 시스템을 갖추어야 할 것이다.

세 번째로 맨홀의 경우 일반 작업장과 달리 밀폐공간에 대한 경고를 미리 부착하지 못하여 작업자에 대한 위험성 인지가 부족한 점을 들 수 있다. 따라서 맨홀덮개에 밀폐공간에 대한 경고를 할 수 있는 조치가 필요함을 알 수 있다. 위험문구는 『내부진입시 질식위험』 등으로 하면 될 것이다.

오폐수처리장은 하수종말처리장 1개소와 옥내 정화조 2개소 등 3개소의 처리장에 대해 실태조사를 실시하였는데 오폐수의 성상, 단순저장법(부패조)·활성오니법·소화처리법 등 처리방식과 정상작업·슬러지제거작업 등 작업내용에 따라 유해가스의 농도수준이 상이함을 알 수 있었다.

하수종말처리장에 대한 실태조사 결과 유입맨홀, 농축조, 2차 농축조, 저류조 등에서 황화수소 농도가 100 ppm을 초과하였는데 특히 저류조에서는 측정

범위를 훨씬 벗어나는 500 ppm 이상을 기록하였다. 따라서 하수종말처리장의 밀폐된 공간은 대부분 황화수소가 매우 높은 농도로 발생함을 알 수 있다.

옥내에 소재한 A 정화조의 오수펌핑 작업시 가스농도를 측정하였는데 펌핑은 운반트럭의 용량에 맞추어 3회에 걸쳐 진행되었다. 1차 펌핑시에 황화수소의 농도가 평균 45 ppm, 최고 287 ppm으로서 가장 높은 농도를 나타내었으며, 펌핑횟수가 증가할수록 황화수소 농도가 감소하여 3차 펌핑시에는 황화수소 평균농도가 22 ppm, 최고농도가 78 ppm을 기록하였다. 이는 오수 펌핑작업시 초기에는 부패되어 고형물로 굳어 있는 분뇨를 걷어냄에 따라 고농도로 가스가 발생하며 펌핑이 진행될수록 오수가 물에 희석되기에 가스농도가 낮아지는 것으로 보인다.

단무지 제조업 2개소에 대해 실태조사를 실시하였는데 모업체의 단무지를 숙성시키고 있는 저장조에서는 황화수소 농도가 300 ppm을 초과하는 매우 높은 농도를 나타내었으며 일산화탄소의 농도 또한 500 ppm을 초과하였다. 단무지를 비롯한 일부 식물의 구성성분에는 황화합물이 함유되어 있는데 미생물에 의한 황화합물의 분해 및 산화현상에 의해 황화수소와 일산화탄소가 발생하는 것으로 보인다. 따라서 황화합물이 함유되어 있거나 산화가능한 성분을 함유하고 있는 생체의 보관장소는 질식재해의 위험성이 매우 높은 지역으로 관리하여야 한다.

바지선은 동력선에 견인되어 시멘트, 자갈 등의 중량 물품을 운반하는 무동력선을 말하는데 7개 바지선의 부력탱크에 설치된 맨홀 내부에 대해 실태조사를 실시하였다. 실태조사 결과 바지선 1개소의 맨홀에서는 산소농도가 15.9 %로서 18 % 미만을 나타내었다. 본 연구에 의한 측정은 9월에 이루어졌으며 기온이 높은 여름철에 측정을 실시하 경우 산소농도는 더욱 낮을 것

이다. 일부 수입 바지선의 경우 바지선 구입시에 동봉된 산소농도측정기를 보유하고 있었으나 모두 배터리 방전 및 센서불량 등으로 사용할 수 없는 상태였으며 선주들은 측정기 사용법을 숙지하지 않고 있었다. 일부 선주들 및 바지선 협회와의 면담 등을 통해 지방해양항만청을 활용하여 질식재해 예방기법 및 교육을 실시하는 방안이 가장 효율적임을 알 수 있었다.

부록 : 국가별 질식재해 예방대책 비교

1. 미국 OSHA 규정

1. 법령: Regulations(standards-29CFR)

Standard Number: 1910.146

Title: Permit-required confined spaces

2. 정의

“밀폐공간”이란

- (1) 충분히 커서 근로자가 완전히 들어가서 주어진 일을 행할 수 있는 공간
- (2) 출입의 제한방법이 있는 공간(예로서, 탱크, 용기, 사일로, 저장소, 호퍼, 지하저장실, 채석장 등의 공간이 출입에 제한 방법이 있을 수 있음)
- (3) 근로자의 연속적인 상주를 위하여 설계되지 않은 공간

“유해공기”란 근로자가 노출되었을 때 하나 또는 그 이상의 아래의 원인으로 인하여 사망하거나, 무기력 하거나, 스스로 구조할 수 있는(self-rescue: 밀폐 공간에서 도움 없이 탈출할 수 있는) 능력에 손상이 생기거나, 다치거나 급성 독성을 일으킬 수 있는 위험이 있는 공기

- (1) Lower flammable limit(LEL)의 10% 이상을 초과하는 인화성 가스, 증기 또는 미스트
- (2) LFL이상 농도의 공기 매개 연소성 분진(이 농도는 5피트(1.52m)나 그 이하의 거리에서 육안으로 분진을 식별할 수 없는 상태로 어림잡을 수 있다)

- (3) 대기 중 산소의 농도가 19.5%이하 이거나 23.5%이상인 경우
- (4) Occupational Health and Environmental Control의 Subpart G나 Toxic and Hazardous Substances의 Subpart Z에 dose나 허용 노출한계가 나와 있는 물질이 그 dose나 허용 노출한계를 초과하여 근로자에게 노출될 때의 그 물질의 대기 중 농도(사망하거나, 무기력 하거나, 스스로 구조할 수 있는 능력에 손상이 생기거나, 다치거나 급성독성을 일으키지 않는 물질의 공기 중 농도는 이 조항의 적용을 받지 않음)
- (5) 생명이나 건강에 즉각적으로 위험한 기타 대기조건(OSHA에서 규정하지 않은 공기 오염물질의 dose나 허용노출한계에 대해서는, Hazard Communication Standard, section 1910.1200에 상응하는 MSDS와 같은 다른 정보나, 출판물, 그리고 내부 문서들도 대기 조건의 설정에 관한 지침을 제공할 수 있다)

“산소 결핍 대기”란 부피로 19.5%이하의 산소를 포함하는 대기

“산소 과다 대기”란 부피로 23.5%이상의 산소를 포함하는 대기

“허가가 요구되는 밀폐공간(이하 허가 공간)[Permit-required confined space(permit space)]”이란 하나 또는 그이상의 아래의 특성을 갖는 밀폐공간을 의미한다.

- (1) 유해한 대기를 포함하고 있거나, 포함할 가능성을 가지고 있는 공간
- (2) 들어가는 사람을 빨아들일 가능성을 가진 요소를 포함한 공간
- (3) 들어가는 사람이 갇히거나 질식할 수 있는 내부 구조를 가진 밀폐공간
- (4) 기타 안전 보건상의 심각성이 인지되는 밀폐공간

3. 일반적 요구사항

- (1) 사업주는 작업공간이 허가가 요구되는 밀폐공간인지 결정하기 위한 평가를 하여야 한다.
- (2) 만약 작업장소가 허가가 요구되는 밀폐공간을 포함한다면 그 위치와 위험성에 대한 내용에 대해 위험 표지를 게시한다든가 다른 동등한 효과적인 수단으로 노출되는 근로자들에게 고지하여야 한다.
- (3) 사업주는 허가 공간에 근로자가 들어가지 않는다고 판단한 경우에는 근로자들이 허가 공간에 들어가지 않도록 효과적인 조치를 취하여 한다.
- (4) 사업주는 허가 공간에 근로자가 들어간다고 판단한 경우에는 문서화된 허가 공간 프로그램(permit space program)을 작성하고 이행하여야 한다.
- (5) 사업주는 밀폐공간의 유해한 대기가 실제상의 것인지 잠재적인 것인지 그리고 연속적인 강제환기만으로도 허가 공간 출입에 대한 안전 확보가 충분히 유지될 수 있는지 설명할 수 있으며, 이런 설명을 뒷받침하기 위하여 필요한 관찰 자료 및 점검 자료를 작성할 수 있다. 자료를 얻기 위하여 허가공간에 최초로 출입이 필요한 경우에는 정해진 규정에 의거하여 출입하여야 하고, 자료를 문서화하여야 하며 허가공간에 출입하는 근로자들이 볼 수 있도록 하여야 한다.
- (6) 출입 덮개를 치울 때 불안정한 요소가 있다면 이러한 요소들은 덮개를 치우기 전에 제거되어야 한다.
- (7) 근로자가 밀폐공간에 들어가기 전에는 교정된 직독식 기구를 이용하여 산소의 구성성분, 인화성 가스나 증기 그리고 잠재적인 독성 공기 오염물질의 순으로 사전 측정이 이루어져야 한다. 밀폐공간에 들어가는 근로자 혹은 사업주로부터 권한을 부여받은 대표자는 사전 측정을 관찰할 기회를 가질 수 있어야 한다.
- (8) 밀폐공간에 근로자가 들어갈 때는 항상 유해 대기가 없어야 하며, 강제환기로 유해 대기를 제거하기 전에는 밀폐공간에 들어가지 말아야 한다. 강제환기는 근로자가 밀폐공간을 떠날 때 까지 계속하여야 하며 강제환기를 위한

공기 공급으로 인하여 밀폐공간의 유해성을 증가시키지 않도록 깨끗한 공기가 공급되어야 한다.

(9) 연속적인 강제환기가 유해대기의 축적을 예방한다는 것을 보증하는 것이 필요하기 때문에 밀폐공간의 대기는 주기적으로 측정되어야 하며, 밀폐공간에 들어가는 근로자 혹은 사업주로부터 권한을 부여받은 대표자는 주기적인 측정을 관찰할 기회를 가질 수 있어야 한다.

(10) 비 허가 밀폐공간의 사용상 혹은 구조상의 변화로 인하여 출입자에 대한 유해성이 증가할 경우에는, 필요하다면 사업주는 허가가 요구되는 밀폐공간으로 재분류하여야 한다.

(13) 허가 공간에 실제상 혹은 잠재적인 유해 대기가 없거나 밀폐공간에 들어가지 않고 모든 유해요인이 제거된다면 허가공간은 비 허가공간으로 재분류되어야 한다.

(14) 사업주는 다른 사업주(계약자)의 근로자를 허가 구역에 출입하는 것과 관련된 작업을 하도록 하는 때에는 계약자에게 작업장소에 허가 공간이 있고 permit space program에 의해서만 허가 공간 출입이 가능하다는 것을 고지하여야 한다.

4. 허가가 요구되는 밀폐공간 프로그램(permit-required confined space program)

Permit space program 하에서, 사업주는

- (1) 권한이 없는 출입을 방지하기 위한 필요한 대책을 수행하여야 한다.
- (2) 근로자가 허가 공간에 들어가기 전에 허가공간의 유해성의 규명 및 유해성에 평가를 하여야 한다.
- (3) 허가 공간의 안전한 출입을 위하여 필요한 대책 및 절차 등을 수행하여야 한다.

- (4) 근로자들에게 무료로 측정기구, 환기기구, 개인보호구 등을 제공하고, 기구들을 적절히 유지보수하고 근로자들이 적절히 사용할 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 출입 권한이 주어지기 전에 허가 공간의 대기가 적절한 상태의 출입 조건이 되는지 여부를 측정하고, 작업 중 이러한 조건이 유지가 되는지 측정하기 위하여 허가 공간의 상태를 평가하여야 한다. 측정은 산소농도, 연소 가스 및 증기 그리고 독성 가스와 증기 순으로 한다
- (6) 밀폐공간 내부에서 측정이 이루어지는 동안, 밀폐공간 외부에 최소한 한 사람이 있도록 하여야 한다.
- (7) 사업주는 관리자, 출입 근로자 및 측정자 지정하고, 각각의 임무를 명확히 해주고 교육을 실시하여야 한다.
- (8) 사업주는 밀폐공간으로부터 근로자를 구출하고, 구출된 근로자에게 필요한 응급처치를 제공하고, 권한이 없는 사람이 구조행위를 하는 것을 막기 위하여 구조 및 응급처치에 관찰 절차를 제정하고 실행하여야 한다.

5. 교육

사업주는 밀폐공간 관련 종사 근로자, 처음으로 작업하는 근로자, 임무가 바뀐 근로자에 대해서 안전한 작업을 위하여 필요한 교육을 실시하여야 한다.

6. 권한을 부여받은 출입자의 임무

사업주는 밀폐공간 작업동안 직면할 수 있는 노출에 따른 증상 등 유해성, 장비의 적절한 사용법, 비상시 대피를 위한 통신에 대한 정보를 권한을 부여받은 출입근로자가 알고 있다는 것을 확인하여야 한다. 그리고 근로자는 위험 상황 노출에 따른 경고 사인이나 증상을 인지하거나 금지된 조건을 감지한

경우에는 즉시 밀폐공간을 빠져나와야 한다.

7. 근로자의 참여

사업주는 관련근로자와 그들의 권한을 부여받은 대표자로부터 허가 공간 프로그램의 제정과 실행에 관한 의견을 들어야 하여 관련된 모든 정보를 이들에게 제공하여야 한다.

2. 일본 후생노동성 규정

1) 산소결핍증 등 방지규칙 _ 후생노동성령 제175호

노동안전위생법(소화 47년 법률 제57호)의 규정에 근거하여 동법을 실행하기 위하여 산소결핍증방지규칙을 다음과 같이 정한다.

제 1 장 총칙(제1조·제2조)

(사업자의 책무)

제1조 사업자는 산소 결핍증등을 방지하기 위하여 작업방법의 확립, 작업 환경의 정비 그 외 필요한 조치를 강구하도록 노력하여야 한다.

(정의)

제2조 이 성령에 대하여 용어의 정의는다음의 각 호에 정하는 바와 같다.

1. 산소결핍 : 공기중의 산소의 농도가 18퍼센트 미만인 상태를 말한다.
2. 산소결핍등 : 전호에 해당하는 상태 또는 공기중의 황화수소의 농도가 백만 분의 10 (10ppm)을 넘는 상태를 말한다.
3. 산소결핍증 : 산소결핍의 공기를 흡입하는 것으로써 발생하는 증상이 인정되는 상태를 말한다.
4. 황화수소 중독 : 황화수소의 농도가 백만 분의 10 (10ppm)을 넘는 공기를 흡입하는 것으로써 발생하는 증상이 인정되는 상태를 말한다.
5. 산소결핍증등 : 산소 결핍증 또는 황화수소 중독을 말한다.
6. 산소결핍위험작업 : 노동안전위생법 시행령(소화 47년 정령 제318호. 이하 「령」이라고 한다.) 별표 제6에 의한 산소결핍위험장소(이하 「산소

결핍위험장소」라고 한다.)에 있어서의 작업을 말한다.

7. 제1종 산소결핍위험작업 : 산소결핍위험작업 가운데, 제2종 산소결핍위험작업 이외의 작업을 말한다.
8. 제2종 산소결핍위험작업 : 산소결핍위험장소 가운데, 령 별표 제6 제 3 호의 3, 제9호 또는 제12호에 의한 산소결핍위험장소(동호에 의한 장소로서 산소결핍증에 걸릴 우려 및 황화수소 중독에 걸릴 우려가 있는 장소로서 후생 노동대신이 정하는 장소에 한정한다.)에 있어서의 작업을 말한다.

제2장 일반적 방지조치 (제3조~제17조)

(작업환경측정등)

- 제3조 ① 사업자는 령 제21조 제9호에 의한 작업장에 도착하여 그 날의 작업을 개시하기 전에 해당 작업장에 있어서의 공기중의 산소(제2종 산소결핍위험작업과 관련되는 작업장의 산소 및 황화수소)의 농도를 측정해야 한다.
- ② 사업자는 전항의 규정에 의한 측정을 행한 때에는 그때 그때 다음 일항을 기록하고 이것을 3년간 보존해야 한다.
1. 측정일시
 2. 측정방법
 3. 측정개소
 4. 측정조건
 5. 측정결과
 6. 측정을 실시한 사람의 이름
 7. 측정 결과에 근거하여 산소결핍증등의 방지 조치를 강구했을 때는 해당 조치의 개요

(측정기구)

제4조 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시킬 때에는 전조 제1항의 규정에 의한 측정을 실시하기 위하여 필요한 측정기구를 갖추어 또는 용이하게 이용할 수 있는 조치를 강구하여야 한다.

(환기)

제5조 ① 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시키는 경우에는 해당 작업을 실시하는 장소의 공기중의 산소의 농도를 18퍼센트 이상(제2종 산소결핍위험작업과 관련되는 장소의 경우에는 공기중의 산소의 농도를 18퍼센트 이상, 한편, 황화수소의 농도를 백만 분의10 이하)으로 유지하도록 환기해야 한다. 다만, 폭발, 산화등을 방지하기 위하여 환기할 수 없는 경우 또는 작업의 성질상 환기하는 것이 현저하게 곤란한 경우에는 그러하지 아니한다.

② 사업자는 전항의 규정에 의하여 환기할 때에는 순수 산소를 사용해서는 안 된다.

(보호구의 사용등)

제5조의2 ① 사업자는 전조 제1항의 장소에 노동자를 종사시키는 경우에는 동시에 취업하는 노동자의 인원수와 동수 이상의 공기 호흡기등 (공기호흡기, 산소호흡기 또는 송기마스크를 말한다. 이하 같다.)을 갖추어 노동자에게 이것을 사용시켜야 한다.

② 노동자는 전항의 경우에 대하여 공기 호흡기등의 사용을 명령받았을 때는 이것을 사용해야 한다.

(안전대등)

제6조 ① 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시키는 경우로서 노동

자가 산소결핍증등 일찌기 전락할 우려가 있을 때에는 노동자에게 안전대(령 제 13조 제3항 제28호의 안전대를 말한다.) 그 외의 구명밧줄(이하 「안전대등」이라고 한다.)을 사용시켜야 한다.

② 사업자는 전항의 경우에 대하여 안전대등을 안전하게 달기 위한 설비등을 마련하여야 한다.

③ 노동자는 제1항의 경우에 대하여 안전대등의 사용을 명령받았을 때는 이것을 사용해야 한다.

(보호구등의 점검)

제7조 사업자는 제5 조의 2 제1항의 규정에 의하여 공기호흡기등을 사용하게 하거나 전조 제1항의 규정에 의하여 안전대등을 사용시켜 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시키는 경우에는 그 날의 작업을 개시하기 전에 해당 공기호흡기등 또는 해당 안전대등 및 전조 제2항의 설비등을 점검하여 이상을 인정했을 때는 즉시 보수하거나 바꾸지 않으면 안 된다.

(인원의 점검)

제8조 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시킬 때에는 노동자를 해당 작업을 행하는 장소에 입장시킬 때와 퇴장시킬 때에 인원을 점검해야 한다.

(출입금지)

제9조 ① 사업자는 산소결핍위험장소 또는 이에 인접하는 장소에서 작업을 실시할 때에는 산소결핍위험작업에 종사하는 노동자 이외의 노동자가 해당 산소결핍위험장소에 들어가는 것을 금지하고 그 취지를 보기 쉬운 장소에 표시해야 한다.

② 산소결핍위험작업에 종사하는 노동자 이외의 노동자는 전항의 규정에

의해 출입을 금지된 장소에는 함부로 출입하여서는 안된다.

③ 제1항의 산소결핍위험장소에 대해서는 노동안전위생규칙(쇼와 47년 노동성령 제32호. 이하 「안위칙」이라고 한다.) 제585조 제1항 제4호의 규정(산소 농도 및 황화수소 농도와 관련되는 부분에 한정한다.)은 적용하지 않는다.

(연락)

제10조 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시키는 경우로서 근접하는 작업장에서 행해지는 작업에 의한 산소결핍등의 우려가 있을 때에는 해당 작업장과의 사이의 연락을 유지하여야 한다.

(작업주임자)

제11조 ① 사업자는 산소결핍위험작업에 대하여 제1종 산소결핍위험작업에는 산소결핍위험작업주임자 기능 강습 또는 산소결핍·황화수소 위험작업 주임자 기능 강습을 수료한 사람 중에서, 제2종 산소결핍위험작업에는 산소결핍·황화수소 위험작업 주임자 기능 강습을 수료한 사람 중에서 산소결핍위험작업 주임자를 선임해야 한다.

② 사업자는 제1종 산소결핍위험작업과 관련되는 산소 결핍 위험 작업 주임자에게 다음 일항을 실시하게 하여야 한다.

1. 작업에 종사하는 노동자가 산소결핍의 공기를 흡입하지 않도록 작업의 방법을 결정하여 노동자를 지휘하는 것.
2. 그 날의 작업을 개시하기 전과 작업에 종사하는 모든 노동자가 작업을 실시하는 장소를 떠난 후 다시 작업을 개시하기 전 및 노동자의 신체, 환기장치등에 이상이 있는 때에 작업을 실시하는 장소의 공기중의 산소의 농도를 측정하는 것.
3. 측정기구, 환기장치, 공기 호흡기등 그 외 노동자가 산소 결핍증에 걸리

는 것을 방지하기 위한 기구 또는 설비를 점검하는 것.

4. 공기 호흡기등의 사용 상황을 감시하는 것.

③ 전항의 규정은 제2종 산소결핍위험작업과 관련되는 산소결핍위험작업 주임자에 대하여 준용한다. 이 경우에 동항 제1호중 「산소 결핍」이라고 있는 것은 「산소 결핍등」이라고, 동항 제2호중 「산소」라고 있는 것은 「산소 및 황화수소」라고, 동항 제3호중 「산소 결핍증」이라고 있는 것은 「산소 결핍증등」이라고 읽어 바꾸는 것으로 한다.

(특별교육)

제12조 ① 사업자는 제1종 산소결핍위험작업과 관련되는 업무에 노동자를 종사하게 할 때에는 해당 노동자에 대해 다음의 과목에 대해 특별교육을 실시하여야 한다.

1. 산소결핍의 발생원인
2. 산소결핍증의 증상
3. 공기호흡기등의 사용방법
4. 사고의 경우의 퇴피 및 구급 소생의 방법
5. 전 각 호외 산소 결핍증의 방지에 관계되어 필요한 사항

② 전항의 규정은 제2종 산소결핍위험작업과 관련되는 업무에 대해 준용한다. 이 경우에 동항 제1호중 「산소결핍」이라고 있는 것은 「산소결핍등」이라고, 동항 제2호 및 제5호중 「산소결핍증」이라고 있는 것은 「산소결핍증등」이라고 읽어 바꾸는 것으로 한다.

③ 안위칙 제37조 및 제38조 및 전 2항에 정하는 것 외에 전 2항의 특별교육의 실시에 대해 필요한 사항은 후생 노동대신이 정한다.

(감시인등)

제13조 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시킬 때에는, 상시 작업

의 상황을 감시하여 이상이 있을 때에는 즉시 그 취지를 산소결핍위험작업 주임자 및 그 외의 관계자에게 통보하는 사람을 두는 등 이상을 조기에 파악하기 위해서 필요한 조치를 강구하여야 한다.

(퇴피)

- 제14조 ① 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시키는 경우로서 해당 작업을 실시하는 장소에 있어 산소결핍등의 우려가 생겼을 때에는 즉시 작업을 중지하고 노동자를 그 장소로부터 퇴피시켜야 한다
- ② 사업자는 전항의 경우에 산소결핍등의 우려가 없는 것을 확인할 때까지 그 장소에 특히 지명한 사람 이외의 사람이 들어가는 것을 금지시키고 그 취지를 보기 쉬운 장소에 표시해야 한다.

(피난용구등)

- 제15조 ① 사업자는 산소결핍위험작업에 노동자를 종사시킬 때에는 공기호흡기등, 사다리, 섬유로프등 비상외의 경우에 노동자를 피난시키거나 구출하기 위해 필요한 용구(이하 「피난 용구등」이라고 한다.)을 갖추어야 한다.
- ② 제7조의 규정은 전항의 피난 용구등에 대해 준용한다.

(구출시 공기호흡기등의 사용)

- 제16조 ① 사업자는 산소결핍증등 위급한 노동자를 산소결핍등의 장소에서 구출하는 작업에 노동자를 종사시킬 때에는 해당 구출작업에 종사하는 노동자에게 공기호흡기등을 사용시켜야 한다.
- ② 노동자는 전항의 경우에 공기 호흡기등의 사용을 명령받았을 때는 이것을 사용하여야 한다.

(진찰 및 처치)

제17조 사업자는 산소결핍증등 위급한 노동자에게 즉시 의사의 진찰 또는 처치를 받게 하여야 한다.

제3장 특수한 작업에 있어서의 방지 조치(제18조~제25조의 2)

(보링등)

제18조 사업자는 수행도 그 외경을 굴착하는 작업에 노동자를 종사시키는 경우로서 메탄 또는 탄산 가스의 돌출에 의해 노동자가 산소결핍증에 걸릴 우려가 있을 때에는 미리 작업을 행하는 장소 및 그 주변에 도착하여 메탄 또는 탄산 가스의 유무 및 상태를 보링 그 외 적당한 방법에 의해 조사하여 그 결과에 근거하여 메탄 또는 탄산 가스의 처리의 방법 및 굴착의 시기 및 순서를 정해 해당 규정에 의해 작업을 행하여야 한다.

(소화 설비등과 관련되는 조치)

제19조 사업자는 지하실, 기관실, 선창 그 외 통풍이 불충분한 장소에 대비하는 소화기 또는 소화 설비로 탄산 가스를 사용하는 경우에는 다음의 조치를 강구하여야 한다.

1. 노동자가 잘못 접촉한 경우에 쉽게 전도하거나 핸들이 쉽게 작동할 리가 없게 하는 것.
2. 함부로 작동시키는 것을 금지하고 그 취지를 보기 쉬운 장소에 표시하는 것.

(냉장실등과 관련되는 조치)

제20조 사업자는 냉장실, 냉동실, 그 외 밀폐하여 사용하는 시설 또는 설비의 내부에 있어서의 작업에 노동자를 종사시키는 경우에는 노동자가 작업

하고 있는 동안 해당 시설 또는 설비의 출입구의 문 또는 뚜껑이 꼭 죄이지 않도록 조치를 강구하여야 한다. 다만, 해당 시설 혹은 설비의 출입구의 문 혹은 뚜껑이 내부에서 쉽게 열 수 있는 구조의 것인 경우 또는 해당 시설 혹은 설비의 내부에 통보 장치 혹은 경보 장치가 설치되고 있는 경우는 그러하지 아니한다.

(용접과 관련되는 조치)

제21조 ① 사업자는 탱크, 보일러 또는 반응탑의 내부 그 외 통풍이 불충분한 장소에 있고, 아르곤, 탄산 가스 또는 헬륨을 사용하여 행하는 용접작업에 노동자를 종사시킬 때에는 다음의 각 호의 몇 개의 조치를 강구하여야 한다.

1. 작업을 행하는 장소의 공기중의 산소의 농도를 18퍼센트 이상으로 유지하도록 환기하는 것.
2. 노동자에게 공기 호흡기등을 사용시키는 것.
- ② 제7조의 규정은, 전항 제2항의 공기 호흡기등에 대해 준용한다.
- ③ 노동자는 제1항 제2호의 경우에 공기호흡기등의 사용을 명령받았을 때는 이것을 사용해야 한다.

(가스 누출 방지 조치)

제22조 ① 사업자는 보일러, 탱크, 반응탑, 선창등의 내부에서 령 별표 제6 제11호의 기체(이하 「불활성 기체」라고 한다.)를 송급하는 배관이 있는 장소의 작업에 노동자를 종사시킬 때는 다음의 조치를 강구하여야 한다.

1. 밸브 혹은 코크를 폐지하거나 차단판을 설치하는 것.
2. 전호에 의해 폐지한 밸브 혹은 코크 또는 설치한 차단판에는 잠금장치를 하고 이것들을 개방해서는 안 되는 취지를 보기 쉬운 장소에 표시하는 것.

② 사업자는 불활성 기체를 공급하는 배관의 밸브 혹은 코크 또는 이것들을 조작하기 위한 스위치, 누르는 보턴등에 대해서는 이러한 오조작에 의한 불활성 기체의 누출을 방지하기 위하여 배관내의 불활성 기체의 명칭 및 개폐의 방향을 표시해야 한다.

(가스 배출과 관련되는 조치)

제22조의2 사업자는 탱크, 반응탑등의 용기의 안전밸브등으로부터 배출되는 불활성 기체가 유입할 우려가 있거나 통풍 또는 환기가 불충분한 장소에 있어서의 작업에 노동자를 종사시킬 때에는 해당 안전밸브등으로부터 배출되는 불활성 기체를 직접 외부에 방출할 수 있는 설비를 마련하는 등 해당 불활성 기체가 해당 장소에 체류 하는 것을 방지하기 위한 조치를 강구하여야 한다.

(공기 희박화의 방지)

제23조 사업자는 그 내부의 공기를 흡인하는 배관(그 내부의 공기를 환기하기 위한 것을 제외한다.)에 통 질질 끄는 탱크, 반응탑 그 외 밀폐하여 사용하는 시설 또는 설비의 내부에 있어서의 작업에 노동자를 종사시킬 때에는 노동자가 작업을 하고 있는 동안 해당 시설 또는 설비의 출입구의 뚜껑 또는 문이 꼭 죄이지 않도록하는 조치를 강구하여야 한다.

(가스 배관 공사와 관련되는 조치)

제23조의2 ① 사업자는 지하실 또는 도랑의 내부 그 외 통풍이 불충분한 장소에 있고 메탄, 에탄, 프로판 혹은 부탄을 주성분으로 하는 가스 또는 이들 가스에 공기를 혼입한 가스를 공급하는 배관을 해체 또는 부착하는 작업에 노동자를 종사시킬 때에는 다음의 조치를 강구하여야 한다.

1. 배관을 해체 또는 부착하는 장소에 이러한 가스가 유입하지 않게 해당

가스를 확실히 차단하는 것.

2. 작업을 실시하는 장소의 공기중의 산소의 농도를 18퍼센트 이상으로 유지하도록 환기하거나 노동자에게 공기 호흡기등을 사용시키는 것.
- ② 제7조의 규정은 전항 제2호의 규정에 의해 사용시키는 공기 호흡기등에 대해 준용한다.
- ③ 노동자는 제1항 제2호의 경우에 공기 호흡기등의 사용을 명령받았을 때는 이것을 사용해야 한다.

(압기공법과 관련되는 조치)

- 제24조 ① 사업자는 령 별표 제6 제1호 이 혹은 로에 이한 지층이 존재하는 장소 또는 이것에 인접하는 장소에 있어 압기공법에 따르는 작업을 실시할 때에는 적합한 시점에 해당 작업에 의해 산소 결핍의 공기가 누출할 우려가 있는 우물 또는 배관에 대해서 공기의 누출의 유무, 그 정도 및 그 공기중의 산소의 농도를 조사해야 한다.
- ② 사업자는 전항의 조사의 결과 산소 결핍의 공기가 누출하고 있을 때에는 그 취지를 관계자에게 통지하고 산소 결핍증의 발생을 방지하기 위한 방법을 지시하고 산소 결핍의 공기가 누출하고 있는 장소에의 출입을 금지하는 등 필요한 조치를 강구하여야 한다.

(지하실등과 관련되는 조치)

- 제25조 사업자는 령 별표 제6 제1호 이 혹은 로에 의해 지층에 접하거나 해당 지층에 통하는 우물 혹은 배관이 설치되고 있는 지하실, 피트등의 내부에 있어서의 작업에 노동자를 종사시킬 때에는 산소 결핍의 공기가 누출할 우려가 있는 장소를 폐색하여 산소 결핍의 공기를 직접 외부에 방출할 수 있는 설비를 마련하는 등 산소 결핍의 공기가 작업을 행하는 장소에 유입하는 것을 방지하기 위한 조치를 강구하여야 한다.

(설비의 개조등의 작업)

제25조의 2 사업자는 분뇨, 부니, 오수, 펄프액 그 외 부패하거나 분해하기 쉬운 물질을 넣어 두거나 들어갈 수 있던 것이 있는 펌프 혹은 배관등 또는 이것들에 부속하는 설비의 개조, 수리, 청소등을 실시하는 경우에 이러한 설비를 분해하는 작업에 노동자를 종사시킬 때에는 다음의 조치를 강구하여야 한다.

1. 작업의 방법 및 순서를 결정하여 미리 이것들을 작업에 종사하는 노동자에게 주지시키는 것.
2. 황화수소 중독의 방지에 대해 필요한 지식을 가지는 사람 중에서 지휘자를 선임하여 그 사람에게 해당 작업을 지휘시키는 것.
3. 작업을 실시하는 설비로부터 황화수소를 확실히 배출하고 해당 설비에 접촉하고 있는 모든 배관으로부터 해당 설비에 황화수소가 유입하지 않게 밸브, 코크등을 확실히 폐지하는 것.
4. 전호에 의해 폐지한 밸브, 코크등에는시건장치를 하고 이것들을 개방해서는 안 되는 취지를 보기 쉬운 장소에 표시하거나 감시인을 두는 것.
5. 작업을 실시하는 설비의 주변에 있어서의 황화수소의 농도의 측정을 실시하고 노동자가 황화수소 중독에 걸릴 우려가 있을 때에는 환기 그 외 필요한 조치를 강구하는 것.

제4장 산소결핍위험작업 주임자 기능 강습 및 산소결핍·황화수소 위험작업

주임자 기능 강습(제26조~제28조)

(산소결핍위험작업 주임자 기능 강습의 강습 과목)

제26조 ① 산소결핍위험작업 주임자 기능 강습은 학과 강습 및 실기 강습을 실시한다.

② 학과 강습은 다음의 과목에 대해 실시한다.

1. 산소 결핍증 및 구급 소생에 관한 지식

2. 산소 결핍의 발생의 원인 및 방지 조치에 관한 지식
3. 보호도구에 관한 지식
4. 관계 법령

③ 실기 강습은, 다음의 과목에 대해 실시한다.

1. 구급 소생의 방법
2. 산소의 농도의 측정 방법

(산소결핍·황화수소 위험작업 주임자 기능 강습의 강습 과목)

제27조 전조의 규정은 산소결핍·황화수소 위험작업 주임자 기능 강습에 대해 준용한다. 이 경우에 동조 제2항 제1호중 「산소 결핍증」이라고 있는 것은 「산소 결핍증, 황화수소 중독」이라고, 동항 제2호중 「산소 결핍」이라고 있는 것은 「산소 결핍 및 황화수소」라고, 동조 제3항 제2호중 「산소」라고 있는 것은 「산소 및 황화수소」라고 읽어 바꾸는 것으로 한다.

(기능 강습의 세목)

제28조 안위칙 제80조 내지 제82조의 2까지 및 이 장에 정하는 것 외 산소 결핍위험작업 주임자 기능 강습 및 산소결핍·황화수소 위험작업 주임자 기능 강습의 실시에 대해 필요한 사항은 후생 노동대신이 정한다.

제 5 장 잡칙(제29조)

(사고등의 보고)

제29조 사업자는 노동자가 산소 결핍증등 위급하거나 제24조 제1항의 조사의 결과 산소 결핍의 공기가 누출하고 있을 때에는 지체 없이 그 취지를 해당 작업을 실시하는 장소를 관할하는 노동기준 감독서장에 보고하여야 한다.

부칙(생략)

노동안전위생법 시행령 별표 제6 산소결핍위험장소

1. 다음의 지층에 접하거나 통하는 우물등(우물, 우물 주위의 낮은 울, 수직 갭, 터널, 잠함, 피트 그 외 이와 유사한 것을 말한다. 다음 호에 대해 같다.)의 내부(다음 호에 의한 장소를 제외하다.)
 - 가. 상층에 물이 통과하지 아니하는 지층이 있는 모래나무층중 함수 혹은 용수가 없거나 적은 부분
 - 나. 제일철염류 또는 제일 망간 염류를 함유 하고 있는 지층
 - 다. 메탄, 에탄 또는 부탄을 함유 하는 지층
 - 라. 탄산수를 용출하고 있거나 용출할 우려가 있는 지층
 - 라. 부니층
2. 장기간 사용되어 있지 않은 우물등의 내부
3. 케이블, 가스관 그 외 지하에 부설되는 것을 수용하기 위한 암거, 맨홀 또는 피트의 내부
- 3의2. 빗물, 하천의 유수 또는 용수가 체류하고 있거나 체류한 것이 있는 조, 암거, 맨홀 또는 피트의 내부
- 3의3. 해수가 체류하고 있거나 체류한 것이 있는 열교환기, 관, 암거, 맨홀, 도랑 혹은 피트(이하 이 호에 대해 「열교환기등」이라고 한다.) 또는 해수를 상당 기간 넣어 두거나 들어갈 수 있던 것이 있는 열교환기등의 내부
4. 상당 기간 밀폐되고 있던 강철 제품의 보일러, 탱크, 반응탑, 선창 그 외 그 내벽이 산화되기 쉬운 시설(그 내벽이 스텐레스 강철 제품의 것 또는 그 내벽의 산화를 방지하기 위해서 필요한 조치가 되고 있는 것을 제외한다.)의 내부
5. 석탄, 아탄, 황화광, 강재, 고철, 원목, 치트프, 건성유, 어유 그 외 공기중의 산소를 흡수하는 물질을 넣어 두는 탱크, 선창, 호퍼 그 외의 저장 시설의 내부

6. 천정, 마루 혹은 둘레의 벽 또는 격납물이 건성유를 포함한 페인트로 도장되어 그 페인트가 건조하기 전에 밀폐된 지하실, 창고, 탱크, 선창 그 외 통풍이 불충분한 시설의 내부
7. 곡물 혹은 사료의 저장, 과채의 숙성, 종자의 발아 또는 버섯류의 재배를 위해서 사용하고 있는 사일로, 창고, 선창 또는 피트의 내부
8. 간장, 주류, 배, 효모 그 외 발효되는 것을 넣어 두거나 넣은 것이 있는 탱크, 또는 양조조의 내부
9. 분뇨, 부니, 오수, 펄프액 그 외 부패하거나 분해하기 쉬운 물질을 넣어 두거나 넣은 것이 있는 탱크, 선창, 조, 관, 암거, 맨홀, 도랑 또는 피트의 내부
10. 드라이아이스를 사용하여 냉장, 냉동하는 냉장고, 냉동고, 보냉 화차, 보냉 트럭, 선창 또는 냉동 컨테이너의 내부
11. 헬륨, 아르곤, 질소, 프레온, 탄산 가스 그 외 불활성의 기체를 넣어 두거나 넣은 것이 있는 보일러, 탱크, 반응탑, 선창 그 외의 시설의 내부
12. 전 각 호에 의한 장소 외 후생 노동대신이 정하는 장소

노동안전위생법 제 22조

제22조 사업자는 다음의 건강 장애를 방지하기 위하여 필요한 조치를 강구하여야 한다.

1. 원재료, 가스, 증기, 분진, 산소결핍공기, 병원체등에 의한 건강 장애

노동안전위생법 시행령 제21조 제9호

9. 별표 제6에 의한 산소 결핍 위험 장소에 있고 작업을 실시하는 경우의 해당 작업장

노동안전위생법 시행령 제 13조 제3항 제28호

28. 안전대(추락에 의한 위험을 방지하기 위한의 것에 한정한다.)

노동안전위생규칙 제585조 제1항 제4호

4. 탄산가스 농도가 1.5퍼센트를 넘는 장소, 산소 농도가 18퍼센트에 못 미친 장소 또는 황화수소 농도가 백만 분의10을 넘는 장소

노동안전위생규칙 제37조, 제38조

제37조 사업자는 법 제 59조 제3항의 특별한 교육(이하 「특별 교육」이라고 한다.)의 과목의 전부 또는 일부에 대해 충분한 지식 및 기능을 가지고 있다고 인정되는 노동자에 대해서는 해당 과목에 대한 특별 교육을 생략할 수 있다.

제38조 사업자는 특별 교육을 행한 때에는 해당 특별 교육의 수강자, 과목등의 기록을 작성하고 이것을 3년간 보존해 두어야 한다.

3. 영국 HSE 규정

1. 법령: The confined Spaces Regulations 1997

2. 정의

“밀폐공간”이란 챔버, 탱크, 양조 및 염색용 큰 통, 사일로, 채석장, 파이프, 하수구, 굴뚝의 연도, 우물이나 밀폐된 상태에서 확연한 위험이 발생할 수 있는 다른 유사한 공간을 의미한다.

“지정된 위험(specified risk)”이란 화재나 폭발로 근로자에게 야기될 수 있는 심각한 부상, 체온상승으로 인해 발생할 수 있는 의식 불명, 가스, 흙, 증기 또는 산소부족으로 인해 야기될 수 있는 의식불명 혹은 질식, 액체 레벨의 상승으로 발생할 수 있는 익사 사고, 유동성 고체로 인한 질식 또는 무기력함을 의미한다.

3. 의무

(1) 모든 사업주는 근로자들이 수행하는 모든 작업에 대해 이 규정의 조항을 따라야한다.

(2) 모든 자영업자들은 자신들의 작업에 있어서도 이 규정의 조항을 따라야한다.

4. 밀폐공간에서의 작업

(1) 근로자는 불가피한 경우를 제외하고는 작업을 하기위해 밀폐공간에 출입

을 해서는 안 된다.

(2) 상기조항에 저촉되지 않게, 근로자는 작업장 안전 및 보건을 확보할 수 있는 작업수칙에 부합하는 경우를 제외하고는 밀폐공간에 출입하거나 밀폐공간에서 작업을 하거나 밀폐공간을 방치해서는 안 된다.

5. 응급 시 대비책

(1) 위 4항의 규정에 저촉되지 않는 범위 내에서, 근로자는 응급상황에 대비하여 근로자를 구조할 수 있는 적합하고 충분한 대비책이 마련되어 있는 경우를 제외하고는 밀폐공간에 출입하거나 밀폐공간에서 작업을 해서는 안 된다.

(2) 위 (1)항의 일반적인 원칙에 위배되지 않게, 구조작업의 시행이 근로자의 안전과 보건상의 위험요소를 감소시킬 수 있고, 위험상황에서 심폐소생을 수행하기위한 기구들이 준비되고 유지되어야만 적절하고 충분한 대비가 되었다고 할 수 있다.

(3) 위 조항(1)에 언급된 대비책을 사용해야할 상황이 생기면 항상 위 대비책은 즉각 실행되어야 한다.

■ Safe work in confined spaces

1. 밀폐공간이란

유해한 물질이나 위험한 조건(예, 산소 결핍)으로 인해 사망이나 심각한 부상의 위험을 가지고 있는 밀폐된 공간이다. 일부 밀폐공간은 아주 알기 쉽다. 예로서 저장 탱크, 사일로, 반응용기, 밀폐된 배수구, 하수구 같이 제한된 개방공간을 가진 밀폐공간을 말한다. 반면 상부가 개방된 챔버, 양조 및 염색용

큰 통, 용광로의 연소실, 환기가 안 되거나 부적절 하게 환기되는 실내등은 위의 경우보다는 덜 명확하지만 동등하게 위험할 수 있다.

2. 밀폐공간으로부터의 위험은 어떤 것이 있나?

- 산소 결핍
- 유독한 가스, 흙이나 증기
- 갑자기 공간을 채우는 액체나 기체 또는 밀폐공간으로 방출되는 기체나 고체
- 화재와 폭발(예, 인화성 증기, 과도한 산소농도 등으로부터 발생)
- 탱크나 용기의 찢어지거나 혹은 내부 표면의 잔재물로부터 발생하는 가스, 흙, 증기
- 고농도의 분진
- 체온 상승으로 위험을 유발하는 고온 작업환경

위의 경우 중 일부는 이미 밀폐공간에 존재하는 상황이지만, 일부는 작업을 수행함으로써 발생하는 경우도 있다.

3. 법적 사항은?

안전 상 필요한 대책을 강구하기위하여 모든 작업에 대해서는 적절한 평가를 해야 한다(The Management of Health and Safety at Work Regulations 1999, regulation 3). 만약 평가결과 밀폐공간 작업으로 인한 유해성이 있다면, the Confined Spaces Regulations 1997이 적용된다. 이 규정은 아래의 주요 임무를 포함하고 있다.

- 밀폐공간에 출입하는 것을 피하라(예, 야외에서 작업함으로써)
- 만약 밀폐공간출입이 불가피하다면, ‘safe system of work’을 따라라

- 작업 시작 전에 적절한 응급 시 대처방안을 강구하라

4. 밀폐공간 출입 회피

밀폐공간에 출입하지 않고 다른 방법으로 작업을 할 수 있는지 확인하여 밀폐공간 출입 작업을 필할 필요가 있다. 더 나은 작업 계획과 다른 접근법으로 밀폐공간 작업의 필요성을 줄일 수 있다.

5. 작업의 안전 시스템(Safe system of work)

만약 밀폐공간 출입작업을 피할 수 없다면, 밀폐공간 내 작업에 대한 안전 시스템을 가지고 있어야 한다. 유해성평가 결과를 활용한다면, 유해성 감소를 위한 예방책 마련에 도움이 될 것이다. 관련된 모든 사람은 안전하기위해서 무엇을 해야 하는지 등에 대한 적절한 교육이 필요하다.

아래의 체크리스트는 완전한 것은 아니지만, safe system of work를 작성을 돕기 위한 필수적인 요소들을 많이 포함하고 있다.

- 관리자의 지정

관리자는 필요한 예방책이 실행되는지, 각 작업단계에서 안전하게 작업이 이루어지는지에 대한 책임이 주어지고, 작업이 진행되는 동안에는 현장에 있어야 한다.

- 작업하기에 적합한 사람인가?

작업에 대한 충분한 경험이 있는지, 어떠한 교육을 받았는지, 시력은 정상인지, 폐쇄공포증이 있는지, 호흡 장치 착용에 문제가 없는지 등에 대한 확인이 필요하다.

- 격리

장비의 기계적 · 전기적인 차단은 중요하며, 가스, 흙, 증기가 밀폐공간에

유입되면 예로서 파이프의 물리적인 격리조치가 필요하다.

- 출입 전 청결

예를 들어 찌꺼기로부터 흙 등이 발생되지 않도록 하는 것이 필요하다.

- 출입문의 크기 확인

출입문은 작업자가 모든 필요한 장비를 착용하기에 충분히 크고, 응급상황 시 쉽게 접근하고 탈출할 수 있어야 한다.

- 환기 설비

개방공간을 증가시킴으로써 환기성능을 향상시킬 수 있으며, 기계적 환기는 신선한 공기의 공급을 위해 필요하다. 그러나 가솔린 엔진으로부터 발생하는 일산화탄소도 유해함으로, 밀폐공간에서는 이런 기계를 사용하여서는 안 된다.

- 공기의 측정

측정은 독성이나 인화성 증기로부터 숨쉬는데 지장이 없는지 확인하기 위하여 필요하다. 측정은 올바르게 교정된 적절한 가스 디텍터를 사용하여 적절한 사람에 의해 이루어져야 한다.

- 특별한 기구와 조명의 준비

인화성이 있거나 잠재적으로 폭발가능성이 있는 대기에서는 non-sparkling 도구와 조명이 필요하다.

- 호흡장치의 준비

밀폐공간 내의 공기를 숨쉬기에 적합한 상태로 만들 수 없을 경우에 호흡장치는 필수 불가결한 요소이다.

- 응급 시 대처법에 대한 준비

응급 시 대처를 위해 장비, 교육 및 반복된 훈련이 필요하다.

- 의사소통

밀폐공간 안에 있는 사람과 밖에 있는 사람사이의 의사소통 및 응급 시 구조요청을 가능하게 하는 적절한 의사소통 시스템이 필요하다.

- 작업허가가 필요한가?

작업허가는 밀폐공간에 들어가거나 작업하는 사람이 출입허가를 받기 전에, 작업 안전 시스템의 모든 요소들이 적절한지 확인하기 위하여 수행하는 것이다.

6. 응급 시 대책

문제가 생기면, 근로자들은 즉각적으로 심각한 위험에 노출된다. 경보를 울리고, 구조작업을 수행하기 위한 효과적인 대책이 중요하다. 그리고 구조에는 충분히 훈련받은 사람이 필요하다. 구조작업 전 인근 공장을 폐쇄하고, 훈련받은 자가 응급조치를 시행하고, 지역 응급 서비스센터에 연락하고, 응급센터에서 도착하면 밀폐공간의 위험성에 대한 정보를 제공한다.

4. 캐나다

1. 법령: Part XI of Canada occupational Health and Safety Regulations (SOR/86-304)

2. 정의

“밀폐공간”이란 다음의 밀폐 혹은 부분적으로 밀폐된 공간을 의미한다.

- (1) 작업 목적 외에는 사람이 상주하지 않는 것을 목적으로 설계된 공간
- (2) 들어가고 나감에 있어 제한이 있는 공간
- (3) 설계, 건축, 위치, 대기 또는 자재들이 원인이 되어 사람이 출입했을 때 유해한 공간

3. 유해성 평가

- (1) 사람이 출입하는 밀폐공간에 유해성평가가 수행되지 않았다면 사업주는 자격이 있는 사람에게 밀폐공간에서 노출될 수 있는 물리·화학적 유해성에 대한 평가를 수행하고, 유해인자에 근로자 노출여부를 결정할 수 있는 측정을 하도록 하여야한다.
- (2) 위의 (1)항에서 언급된 자격이 있는 사람은 평가를 수행함으로써 발견한 것들을 기록해야 한다.
- (3) 사업주는 기록된 보고서의 사본을 안전 보건 대표자나 사업장 위원회가 볼 수 있도록 조치하여야 한다.
- (4) 작성된 보고서는 최소한 3년에 한번 유해성 평가결과의 정확성을 확인하기 위하여 자격이 있는 사람에게 검토되어야 한다. 다만, 이전의 보고서 검토 이후 밀폐공간에 출입한 적이 없고 출입 계획이 없을 경우에는, 실제 출입이 있을 때 까지 보고서를 검토 할 필요가 없다.

4. 출입 절차

- (1) 모든 사업주는 밀폐공간에 출입하거나 일을 하는 사람들이 따라야 할 절차를 제정하고 또한, 출입허가가 필요한 기간에 대한 상세한 내용과 밀폐공간에 출입하는 사람의 이름과 출입하는 날짜와 시간 그리고 밀폐공간에서 나오는 예상시간 등의 기록을 제공할 수 있는 출입허가 시스템을 제정하여야 한다.
- (2) 사업주는 밀폐공간에 출입하는 모든 사람들이 사용할 수 있는 보호 장비, 격리 장비 및 응급장비에 대하여서도 상술하여야 한다.

5. 밀폐공간의 출입

- (1) 사업주는 자격이 있는 사람에 의해 밀폐공간에 근로자가 있는 시간동안 공기 매개 화학물질 및 화학물질의 혼합물이 미국 ACGIH-TLV와 BEI를 초과하여 근로자에게 노출되지 않도록 하여야 하며, Lower explosive limit의 50%이하로, 그리고 점화원이 점화하기 위한 최대 농도인 최저폭발한계 10% 이하가 되도록 하여야 한다. 그리고 화학물질을 제외한 공기 매개 유해물질의 농도는 근로자의 안전 보건 상 유해하지 않도록 하여야 하며, 밀폐공간의 산소농도는 정상 기압에서 부피 기준으로 18.5% 이하나 23% 이상이 되지 않도록 하여야 한다.
- (2) 사람이 익사할 수 있는 액체, 유동성 고체를 밀폐공간에서 제거해야 하며, 유해성이 있을 수 있는 전기·기계기구들은 전원에서 분리해야 하며, 출입을 위하여 밀폐공간을 개방할 때는 보호구를 사용하여 충분히 안전을 확보하여야 한다.
- (3) 위 (1)항에 언급된 자격이 있는 사람은 측정 방법, 측정 결과, 측정에 사용한 장비 등을 포함한 보고서를 작성하여야 하며, 사업주는 보고서를 안전 보건 대표자 및 사업장 위원회에 제공하여야 한다.

6. 응급상황 시 절차 및 장비

사업주는 밀폐공간 내 혹은 밀폐공간 근처에서 사고나 응급상황 발생 시 따라야 할 응급상황 시 대처방법을 제정하고, 보호장비를 제공하고, 응급상황 시 밀폐공간에 들어갈 수 있는 자격이 있는 사람을 훈련시켜야 하며, 응급상황 시 구조를 돕기 위하여 2명 이상의 사람이 밀폐공간 근처에 즉각 있도록 하여야 한다.

7. 점화원이 될 수 있는 작업

(1) 자격이 있는 사람이 안전하게 작업이 수행될 수 있다고 결정한 경우를 제외 하고는, 폭발성 혹은 인화성 물질이 최저 폭발한계의 10%를 초과하거나 산소농도가 23%를 초과하는 밀폐공간에서는 점화원이 될 수 있는 작업을 해서는 안 된다.

(2) 위의 조건에 해당되는 경우 점화원이 될 수 있는 작업을 한다면, 자격이 있는 사람이 화재의 위험이 없어 질 때까지 주변지역을 순찰하고, 화재 예방을 위한 경계를 유지해야 한다.

(3) 점화원이 될 수 있는 작업으로 인해 밀폐공간에 공기 매개 유해 물질이 생성된다면, 적절한 조치가 취해지거나 호흡보호구를 착용한 경우를 제외하고는 밀폐공간에 출입하여서는 안 된다.

8. 환기 장비

(1) 밀폐공간 내의 대기를 적정농도 이하로 유지하기 위하여 환기설비를 사용하는 경우, 사업주는 환기 설비의 알람이 작동하고, 만약 환기설비가 작동하지 않을 때를 대비해 밀폐공간으로부터 탈출할 충분한 시간이 있을 때만 근

로자에게 밀폐공간에 접근할 수 있도록 하여야 한다.

(2) 환기설비가 제대로 작동하지 않으면, 사업주는 즉시 밀폐공간에서 작업하고 있는 근로자에게 알려야 한다.

9. 교육

사업주는 모든 근로자에게 밀폐공간 출입 절차 등에 대한 교육을 실시하여야 하고, 이러한 절차를 따르지 않는 근로자는 밀폐공간에 출입하지 못하도록 하여야 한다.

10. 자료 보관

사업주는 밀폐공간 가까운 곳에 자료의 사본을 보관하여야 한다.

참고문헌

1. 김동훈, 장태정 (2004), 역청탄 적재된 화물창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사, 동국대학교 의과대학 병리학 교실
2. 김동훈 등 , 목재가 선적된 선창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사, Korea. J. Legal. Med, Vol 25, No. 1
3. 김미경, 박연신, 정용(2000), VOCs 측정 및 VOCs가 인체에 미치는 영향, Analytical science & Technology
4. 김형수 등 (2001), 혈중 및 호기 일산화탄소를 이용한 일산화탄소 헤모글로빈 농도간의 관련성 연구, 동아대학교
5. 박충기 등 (1994), 단무지공장에서 발생한 질식 사고의 원인과 방사선학적 소견 : 증례보고 및 가스분석 결과
6. 이서래, 신호선(1986), 식품화학, 집현사
7. 조동란, 함완식, 황병문 (2005), 밀폐공간 작업안전(산업안전교육원 교육교재), 한국산업안전공단
8. 산업안전보건연구원(2007), 산소결핍재해 예방을 위한 시스템적 접근, 한국산업안전공단
9. Application and Technical Notes Guide(2005), RAE Systems, Inc.
10. A Guide to Safety in Confined Spaces, U.S. Department of Health and Human services, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health (1987)
11. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values(TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs). 2007.
12. ChemIDplus Advanced 홈페이지(2008), <http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus>

- /chemidheavy.jsp, United States National Library of Medicine
13. Harrison's principle of international medicine (내과학), 대한내과학회
 14. Neil McManus (1999), Safety and Health in Confined Space, LEWIS
 15. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazard, U.S. Department of Health and Human services, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health (2005)
 16. Permitted-required confined spaces-1910.146, U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration
 17. Safe work in Confined space, Health and Safety Executive

Study for Identifying and Assessing Hazardous Conditions in Confined Space

Kye-mook Yoo, Hyunhee Park, Gwang-Jae Jung

Center for Industrial Hygiene Research,

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

34-4, Gusan-Dong, Bupyeong-Ku, Incheon 403-711, Korea

〈Abstract〉

Aims : Confined spaces are inherently dangerous workplace and the sites of many fatal and nonfatal accidents. The difficulty in managing the hazards posed by confined space is that space receives no recognition and attention. In Korea the number of fatality in confined space is two or three times more than in other developed country. The hazards in confined spaces arise from many factors : the geometric shape that forms the space, internal configuration, bulk and residual contents, active and passive chemical and physical processes, and mechanical and other equipment. But there are not many information about toxic and asphyxiating hazards in confined space. So in this study, we investigate information on toxic and asphyxiating hazards in confined space at different types of confined space

Methods : 〈Analizing fatal accidents〉 We analized fatal accidents in confined space in korea during period 1999 to 2007. 〈Survey〉 We site-visited 55 manholes, 3 wastewater treatment plants, 2 yellow radish manufacturing company and 7 barges to

measure oxygen, hydrosulfide, carbon monoxide, Lower Explosion Limits and Volatile Organic Compounds concentration with pumped direct reading gas monitor. also we identified and assessed each confined space hazards 〈Experiment〉 We tested 10 different materials in confined storage (18ℓ) to observe their gas changes for 8 weeks.

Results : 〈Analizing fatal accidents〉 During period 1999 to 2007, 212 fatal and 141 nonfatal accidents occurred in Korea. Manhole, wastewater treatment plants and storage tank occupied 56% of confined space where accidents occurred . Oxygen deficiency and hydrogen sulfide intoxication occupied 50% of main source and Carbon monoxide occupied 21% 〈Survey〉 In 55 manhole, the concentraton was different by types of manhole like rain, sewage, factory wastewater and by location where what kinds of manufacturing exist near the manhole. The manhole near wastewater treatment plant showed highest hydrogen sulfide concentration as 300 ppm and lowest oxygen concentration as 8.7%, the manhole near dyeing company showed highest carbon monoxide concentration as 100 ppm. In 3 wastewater treatment plants, hydrogen sulfide and Ammonia was most generated gas and highest concentration as 500 ppm and 200 ppm each. 2 yellow radish manufacturing company showed 300 ppm hydrogen sulfide concentration and it generated from radish itself during 1 year of ripening period. 7 barges showed 15.9%~20.9% oxygen concentration and it related corrosion in inner metal tank and temperature 〈Experiment〉 In 10 different materials in confined

storage (18ℓ) for 8 weeks, 5 material of yellow radish, soybean source, sewage water, wood, bananas showed less than 18% oxygen concentration. some other 6 materials showed higher than 50 ppm carbon monoxide.

Conclusion :

1) We found that manhole, wastewater treatment plants and storage tank occupied 56% of confined space where accidents occurred and oxygen deficiency and hydrogen sulfide intoxication occupied 50% of main source

2) The manhole near wastewater treatment plant showed highest hydrogen sulfide concentration as 300 ppm and lowest oxygen concentration as 8.7%, In wastewater treatment plants, hydrogen sulfide and Ammonia was most generated gas and highest concentration as 500 ppm and 200 ppm each. 2 yellow radish manufacturing company showed 300 ppm hydrogen sulfide concentration. 7 barges showed 15.9%~20.9% oxygen concentration

2) We found that the term "confined space" have to change to other korean word to easily recognize to employers and workers where is the place to have toxic and asphyxiating hazards and also change its definition at occupational safety and health act

3) We suggest that employer should survey and identify all possible confined space in their local workplace and place where workers can work and confined space operation system should be in writing including space shape, ventilation plan, possible gas and personal protective equipment

4) We recommend that to practice these program works, education and hazard assessment carried out with practical partners in associations

Key words : Confined space, Oxygen deficiency, Hydrogen sulfide intoxication,
Manhole

〈연구진〉

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 유계묵 (연구위원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

공동연구자 : 박현희 (연구원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

정광재 (연구원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

참여연구자 : 이종한 (팀장, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

정은교 (연구위원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

이나루 (연구위원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

이광용 (연구원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

신정아 (연구원, 안전위생연구센터 산업위생연구팀)

〈연구기간〉

2008. 1. 1 ~ 2008. 11. 30

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해
이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을
알려드립니다.

산업안전보건연구원장

밀폐공간 작업종류별 질식재해 요인 파악 및 예방대책 연구

(보건분야 - 연구자료 연구원 2008-140-1477)

발 행 일 : 2008년 11월 30일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 박두용
연구책임자 : 안전위생연구센터 연구위원 유계묵
발 행 처 : 한국산업안전공단 산업안전보건연구원
주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4
전 화 : (032) 5100-812, 807, 813
F A X : (032) 518-0864
Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

인쇄 :

[비매품]