

연구보고서

산업현장 쏘조직부문의 위험성평가 참여 방안 및 역할 검토 (최근 사망사고 사례분석을 중심으로)

김진현·강정훈·박주동·서동현·박장현·이은진·전소영·백빛나

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- **연구기간** 2022년 3월 ~ 2022년 6월
- **핵심 단어** 위험성평가, 위험성평가 기법, 위험성평가 도구, 관리감독자, 체크리스트, 조직, 부문, 부서, 참여, 역할
- **연구과제명** 산업현장 소조직부문의 위험성평가 참여 방안 및 역할 검토 (최근 사망사고 사례분석을 중심으로)

1. 연구배경

안전은 전체 조직 중 어느 한 부서의 업무가 아니다. 안전은 모든 조직 구성원의 근본 업무다. 사업장의 업무가 이루어지는 각 단계별로 소속 근로자들을 보호하기 위한 고유의 안전업무가 이미 내포돼 있다. 안전은 시공(건설)과 생산(제조)만의 문제일 수는 없다. 시공과 생산 이전의 단계(경영진의 구상 및 검토, 설계, 발주, 유통, 운송, 구매, 검사, 설치, 시운전 등)와 그 이후의 단계(감리, 유지보수, 사후관리 등)도 안전관리에 있어 피할 수 없는 한 부분이고 역할이 요구되고 있다. 또한, 이제는 기술중심에서 벗어나 다각적인 시각과 다양한 관점에서 사고발생에 영향을 미치는 요인을 찾아낼 필요성이 제기되고 있다. 사고의 중심에는 사람이 있기에 기술적 요인에만 집중하면 중요한 사고발생 원인들을 놓칠 우려가 계속 제기되고 있다.

이 연구에서는 여전히 산업현장에서 위험성평가 이행의 현장 작동성이 미흡하다는 지적 외 앞에서 기술한 여러 문제점들을 해소하는데 기여할 방안을 찾고자 한다. 최근 안전업무의 시작과 중심에는 위험성평가 절차가 있으므로 산업현장 소조직부문이 실질적으로 위험성평가에 참여하고 기능에 맞는 역할을 다 할 수 있는 방안에 대해 사망사고 사례분석을 통해 제시하고자 한다.

2. 주요 연구내용

사망사고 사례분석은 사회적 이슈가 되었던 건축물 해체공사 중 붕괴사고, 열매체유 보일러 화재·폭발사고, TMAH 급성중독사고 등 3종류를 중심으로 수행하였다. 사고분석 과정은 전통적 분석 방식과 최근 부각되기 시작한 시스템적 분석 방식의 2개 팀으로 구분하였다. 팀 간 연구내용에 대한 교류 없이 별도로 분리된 분석 작업을 수행하였다.

이러한 두 방향의 접근법은 서로 다른 결과를 내는 것을 확인하였다. 전통적 방식과 시스템적 방식 모두 분석자 개인의 전문성과 통찰력에 크게 의존하는 정성적 기법이지만, 시스템적 방식은 전통적 방식과 달리 기술적 사항 중심으로 치우칠 우려가 적고, 조직 차원에서 단위 조직이 한 일과 하여야 하는데 하지 못한 일, 조직의 역할, 업무 절차 등을 좀 더 효율적으로 파악하는 체계적 분석에 효과적이라 판단된다.

사고사례의 분석을 거쳐 문제점을 도출하고, 체크리스트의 구성 항목을 제안하는 과정이 어느 정도 합리적인지, 향후 통계적 또는 정량적 위험성평가 도구의 활용까지 어느 정도의 시간과 노력이 필요할지 파악하고, 이 연구에서 제안된 위험성평가 도구인 체크리스트의 발전방향을 제시하고자 다른 위험성평가 도구와 비교를 시도해 보았다.

비교에 사용된 위험성평가 도구는 과거 수십 년간 국내·외에서 다양하게 수행된 연구와 현장 적용을 통해 일부 국가에서는 사용이 의무화 되는 등 활용성을 넓히고 있는 범죄예측 위험성평가 도구이다. 이 평가 도구는 초기 전문가들만이 참여하는 임상적 평가 도구, 계량적·통계적 방식으로 객관화된 평가 도구, 객관화된 계량적·통계적 평가 방식에 다시 주관적 평가 방식을 병용하는 평가 도구로 계속 발전하면서 활용성을 높이고 있다.

산업현장용 위험성평가 도구는 쏘단계에 걸쳐 쏘조직(실제적으로 관리감독자 중심)이 스스로 이행할 안전관리 역할을 쉽게 직관적으로 파악할 수 있어야 하고, 특히 조직이 많고 기능이 복잡한 중규모 이상, 대기업에서 명

확히 역할 구분이 이해되어야 한다. 더불어 소규모 사업장의 현장 작업자들도 쉽게 이해하고 바로 적용할 수 있고 서류작업이 적을수록 그러한 도구를 현장에서는 좋게 받아들일 수 있을 것이다. 이를 통해 위험성평가에 있어 현장 작동성의 향상도 기대해 볼 수 있을 것이다. 이러한 실정에 가장 잘 부합하는 위험성평가 도구는 체크리스트 방식이라 판단하고, 이 연구에서는 체크리스트 방식을 제안하였다.

이 연구에서 제안하는 체크리스트는 일종의 샘플이다. 위험성평가의 현장의 작동성을 높이는데 기여하고자 가급적 복잡하거나 어렵지 않게 작성하고자 노력하였다. 사고예방에 핵심적인 사항은 포함시키되, 많은 양으로 인해 현장에서 거부감이 들지 않게 고민하였다. 따라서 사업장에서는 이를 샘플로 사업장별 여건, 환경, 작업내용에 부합되도록 항목을 추가하거나 삭제하는 방식으로 보정하고, 추가적으로 필요한 조치사항, 조치방법 등 세부적인 내용은 현장의 안전 전문가 및 기술 전문가 등과 협업하여 보완하는 작업이 필요할 것이다.

3. 연구 활용방안

- 사업장 위험성평가의 샘플로 활용 및 위험성평가 현장작동성 제고에 기여
- 본부에서 예방사업화 및 관련 후속연구의 기초자료로 활용

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 실장 김진현
 - ☎ 052) 7030. 840
 - E-mail : k3388283@kosha.or.kr

목 차

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| I. 서론 | 1 |
| 1. 배경 및 목적 | 3 |
| 2. 범위 및 방법 | 5 |
| 3. 선행연구 고찰 | 6 |
| | |
| II. 위험성평가의 의의와 기능 | 11 |
| 1. 위험성평가 제도의 개요 | 13 |
| 2. 위험성평가 이행 주체 | 14 |
| 3. 위험성평가의 안전보건조치 수준 | 19 |
| 4. 위험성평가 도구의 개발 및 활용 사례 | 23 |
| 1) 위험성평가 도구 | 23 |
| 2) 4M 위험성평가 도구와 KRAS | 25 |
| 3) 선행연구 중 위험성평가 비교사례 | 29 |
| 4) 범죄예측 위험성평가 도구 | 31 |
| 5) 위험성평가 방안 도출을 위한 두 가지 접근 방식 | 44 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 5. 소결 | 48 |
| 1) 위험성평가 | 48 |
| 2) 체크리스트 제안 | 49 |
| 3) 체크리스트의 발전방향 | 50 |
| Ⅲ. 사고사례 분석 및 위험성평가 방안 | 53 |
| 1. 사고사례 분석 개요 | 55 |
| 2. 사고사례 분석 | 56 |
| 1) 건축물 해체공사 중 붕괴사고 사례 | 56 |
| 2) 열매체유 보일러 화재·폭발사고 사례 | 104 |
| 3) TMAH 급성중독사고 사례 | 158 |
| 3. 소결 | 187 |
| 1) 건축물 해체공사 중 붕괴사고 | 187 |
| 2) 열매체유 보일러 화재·폭발사고 | 189 |
| 3) TMAH 급성중독사고 | 189 |
| 4) 두 가지 사고분석 접근방식에 대한 고찰 | 191 |

목 차

IV. 쉼조직부문의 위험성평가 참여 및 역할 193

1. 사고사례별 제안 체크리스트에 대한 종합 전문가 자문 195
2. 사고사례 분석 및 체크리스트 제안 200
 - 1) 건축물 해체공사 중 붕괴사고 202
 - 2) 열매체유 보일러 화재·폭발사고 205
 - 3) TMAH 급성중독사고 208

V. 결론 211

1. 위험성평가용 체크리스트의 제안과 활용 213
 - 1) 체크리스트의 제안 및 쉼조직부문의 동참 213
 - 2) 체크리스트의 활용 214
 - 3) 체크리스트의 갱신(보완) 214
 - 4) 체크리스트의 발전방향 215
2. 향후 연구과제와 한계점 216
 - 1) 샘플 체크리스트의 완성도 제고 216
 - 2) 사고재발을 방지하는데 도움이 되는 후속연구 과제 216
 - 3) 연구의 한계점 217

| | |
|----------------|-----|
| 참고문헌 | 219 |
| Abstract | 225 |
| 부 록 | 227 |

표 목차

| | |
|--|----|
| 〈표 II-1〉 산업안전보건법상 안전보건관리 의무사항 | 15 |
| 〈표 II-2〉 중대재해처벌법상 안전보건관리 의무사항 | 16 |
| 〈표 II-3〉 위험성평가 제도 추진경과 | 25 |
| 〈표 II-4〉 4M의 항목별 유해·위험요인(예시) | 26 |
| 〈표 II-5〉 유해·위험요인 파악 내용 | 27 |
| 〈표 II-6〉 2019년 사업장 위험성평가 실시 현황 | 29 |
| 〈표 II-7〉 범죄예측 위험성평가 도구의 평가항목 비교 | 42 |
| | |
| 〈표 III-1〉 유해·위험방지계획서 제출 대상(해체공사) | 60 |
| 〈표 III-2〉 안전보건규칙의 해체공사 관련 주요 내용 | 60 |
| 〈표 III-3〉 건축물관리법의 해체공사 허가 및 신고의 구분 | 62 |
| 〈표 III-4〉 건축물관리법의 해체계획서 주요 내용 | 63 |
| 〈표 III-5〉 그 외 건축물관리법 주요 내용 | 64 |
| 〈표 III-6〉 건축물관리법 주요 개정 내용 전·후 비교 | 66 |
| 〈표 III-7〉 해체계획서 작성의 주요 기준 | 67 |
| 〈표 III-8〉 건축법의 주요 용어의 정의 | 69 |
| 〈표 III-9〉 해체공사 건축허가(신고) 시 구조안전 확인 대상 | 70 |
| 〈표 III-10〉 일본의 건설업법 주요 내용(하기주 등, 2010) | 72 |
| 〈표 III-11〉 일본의 해체시공기사 요구조건(하기주 등, 2013) | 73 |
| 〈표 III-12〉 해체공사 중 붕괴사고의 업무단계별 위험요인 검토결과 | 78 |
| 〈표 III-13〉 해체공사 관련 기존의 절차서 및 체크리스트 개발 사례 | 80 |
| 〈표 III-14〉 기존 절차서 등의 붕괴사고 예방 주요 점검항목 분석 결과 | 81 |
| 〈표 III-15〉 전문가 자문의견 주요 내용 | 83 |

| | |
|--|-----|
| 〈표 Ⅲ-16〉 해체공사 붕괴사고 문제점 | 87 |
| 〈표 Ⅲ-17〉 해체공사 붕괴사고 예방 체크리스트 | 89 |
| 〈표 Ⅲ-18〉 건축물 해체공사 관련 시스템 구성요소 | 93 |
| 〈표 Ⅲ-19〉 건축물 해체공사 관련 업무 흐름 | 96 |
| 〈표 Ⅲ-20〉 건축물 해체공사 업무 흐름에 따른 문제점 | 98 |
| 〈표 Ⅲ-21〉 건축물 해체공사 안전확보를 위한 업무 흐름별 체크리스트 .. | 101 |
| 〈표 Ⅲ-22〉 열매체유 활용분야(이근원 등, 2012) | 104 |
| 〈표 Ⅲ-23〉 형식별 보일러 설치현황 | 106 |
| 〈표 Ⅲ-24〉 열매체유 분류 및 특성 | 107 |
| 〈표 Ⅲ-25〉 열매체유 물성 분석 기준 | 107 |
| 〈표 Ⅲ-26〉 위험물 및 지정수량 | 110 |
| 〈표 Ⅲ-27〉 제조소등의 위치·구조 및 설비의 기준 | 111 |
| 〈표 Ⅲ-28〉 제조소등에서의 위험물의 저장 또는 취급에 관한 기준 | 111 |
| 〈표 Ⅲ-29〉 사고사례 관련 위험물안전관리법상의 기술기준 | 112 |
| 〈표 Ⅲ-30〉 열사용기자재검사 검사대상기기 | 114 |
| 〈표 Ⅲ-31〉 열사용기자재의 검사 및 검사면제에 관한 기준 | 115 |
| 〈표 Ⅲ-32〉 사고사례 관련 에너지이용합리화법상의 기술기준 | 115 |
| 〈표 Ⅲ-33〉 안전인증·안전검사대상기계등의 규격 및 형식별 적용범위 | 117 |
| 〈표 Ⅲ-34〉 유해위험방지계획서 제출 대상 관련 세부내용 | 118 |
| 〈표 Ⅲ-35〉 공정안전보고서 제출 대상 관련 세부내용 | 120 |
| 〈표 Ⅲ-36〉 사고사례 관련 산업안전보건기준에 관한 규칙 | 122 |
| 〈표 Ⅲ-37〉 사고사례 관련 KOSHA Guide 상세기준 | 123 |
| 〈표 Ⅲ-38〉 사고사례 및 발생원인 | 126 |

표 목차

| | |
|--|-----|
| 〈표 Ⅲ-39〉 공정설계 및 상세설계단계 사고 발생원인과 대책 | 129 |
| 〈표 Ⅲ-40〉 발주 및 계약단계에서 확인할 사항 | 130 |
| 〈표 Ⅲ-41〉 납품 및 설치단계에서 확인할 사항 | 131 |
| 〈표 Ⅲ-42〉 시운전단계에서 확인할 사항 | 132 |
| 〈표 Ⅲ-43〉 정상운전단계 사고 발생원인과 대책 | 133 |
| 〈표 Ⅲ-44〉 정상운전단계에서 확인할 사항 | 134 |
| 〈표 Ⅲ-45〉 점검 및 유지보수단계 사고 발생원인과 대책 | 136 |
| 〈표 Ⅲ-46〉 점검 및 유지보수 사항 | 136 |
| 〈표 Ⅲ-47〉 전문가 자문 현황 | 137 |
| 〈표 Ⅲ-48〉 열매체유 보일러 시스템 업무 흐름별 확인항목 | 138 |
| 〈표 Ⅲ-49〉 확인항목별 사고예방 효과 자문평가 결과 | 143 |
| 〈표 Ⅲ-50〉 열매체유 보일러 시스템 업무 흐름별 체크리스트 | 144 |
| 〈표 Ⅲ-51〉 열매체유 관련 분석대상 사고 목록 | 145 |
| 〈표 Ⅲ-52〉 열매체유 설비 사용 사업장의 주요 업무 흐름 | 148 |
| 〈표 Ⅲ-53〉 열매체유 사용 설비 관련 업무 흐름에 따른 문제점 | 150 |
| 〈표 Ⅲ-54〉 열매체유 사용설비의 업무 흐름별 체크리스트 | 155 |
| 〈표 Ⅲ-55〉 TMAH 농도별 MSDS 유해성 비교 | 159 |
| 〈표 Ⅲ-56〉 TMAH 취급 시 조치사항 | 161 |
| 〈표 Ⅲ-57〉 TMAH로 인한 국내·외 사고사례 요약 | 163 |
| 〈표 Ⅲ-58〉 TMAH 관련 국내 법령 및 규정 요약 | 164 |
| 〈표 Ⅲ-59〉 업무 흐름에 따른 역할 | 168 |
| 〈표 Ⅲ-60〉 TMAH 사고사례 분석 결과 | 173 |
| 〈표 Ⅲ-61〉 TMAH 제조사업장 체크리스트 | 175 |

| | |
|---|-----|
| 〈표 III-62〉 TMAH 사용사업장 체크리스트 | 177 |
| 〈표 III-63〉 TMAH 누출 관련 분석대상 사고 목록 | 179 |
| 〈표 III-64〉 TMAH 포함 화학물질 개발 및 생산사업장 주요 업무흐름 ... | 181 |
| 〈표 III-65〉 TMAH 포함 화학물질 개발·생산업무 문제점 | 182 |
| 〈표 III-66〉 TMAH 포함 화학물질 개발·생산업무 흐름별 체크리스트 | 185 |
| 〈표 IV-1〉 종합 전문가 자문회의 참석자 명단 | 196 |
| 〈표 IV-2〉 종합 전문가 자문회의 토론 주요 내용 | 196 |
| 〈표 IV-3〉 건축물 해체공사 붕괴사고 예방을 위한 쏘단계소조직부문의 위험성평가 참여 및 역할 | 203 |
| 〈표 IV-4〉 열매체유 보일러 화재·폭발사고 예방을 위한 쏘단계소조직부문의 위험성평가 참여 및 역할 | 206 |
| 〈표 IV-5〉 TMAH 급성중독사고 예방을 위한 쏘단계소조직부문의 위험성평가 참여 및 역할 | 209 |

그림 목차

| | |
|---|-----|
| [그림 II-1] 국내 위험성평가의 절차 기준 | 27 |
| [그림 II-2] 독일, 사업장이 실시한 위험성평가 사례(2009년 추정) | 30 |
| [그림 II-3] 우리나라, 사업장이 외부 전문기관에 위탁하여 실시한 위험성평가 결과보고서 | 31 |
| [그림 II-4] STAMP의 일반적인 사회-기술 제어 모형 | 47 |
| [그림 II-5] CAST의 분석 절차 및 단계별 구성요소 | 47 |
| | |
| [그림 III-1] 해체공사 업무순서(국토교통부, 2021.) | 57 |
| [그림 III-2] 국내 해체공사를 위한 행정 절차도 | 71 |
| [그림 III-3] 홍콩, 해체공사 주체별 주요 업무(전재열 등, 2021) | 73 |
| [그림 III-4] 홍콩, 해체공사 업무순서(김승원 등, 2012) | 74 |
| [그림 III-5] 건축물 해체공사 관련 시스템 제어 구조도 | 95 |
| [그림 III-6] 시스템 구성요소별 사고 기여 요인 | 97 |
| [그림 III-7] 열매체유 보일러 시스템 관련 업무 흐름 및 관련 조직 | 127 |
| [그림 III-8] 열매체유 화재·폭발 사고 관련 시스템 제어 구조도 | 147 |
| [그림 III-9] TMAH 농도별 인체 영향 | 159 |
| [그림 III-10] TMAH 수출 및 수입량(kg, 1988년-2015년) | 160 |
| [그림 III-11] TMAH 테스트 및 유지보수 작업 흐름도 | 165 |
| [그림 III-12] TMAH 누출 사고 관련 시스템 제어 구조도 | 180 |

I. 서론

.....

I. 서론

1. 배경 및 목적

산업현장에서 산업안전은 여전히 안전관리자, 보건관리자, 안전보건관리 담당자의 업무라고 생각하는 인식이 여전하다. 산업안전보건법에서는 분명히 실질적인 안전업무는 관리감독자 중심으로 이루어진다는 것을 명시하고 있지만, 현실은 그렇게 작동하지 않는다. 현장에서 안전이 제대로 작동하려면 관리감독자들이 안전관리자·보건관리자의 전문성에 기반한 협조를 얻기 위해 와 달라고 요청해야 하는데, 여전히 안전관리자·보건관리자 등이 바쁘다는 관리감독자들의 협조를 얻기 위해 부탁을 하러 뛰어다니는 것이 거의 상당수 현장에서 벌어지는 현실이다.

안전은 전체 조직 중 어느 한 부서의 업무가 아니다. 안전은 모든 조직 구성원의 근본 업무다. 사업장의 업무가 이루어지는 각 단계별로 소속 근로자들을 보호하기 위한 고유의 안전업무가 이미 내포돼 있다. 그 담당자가 그 단계에서 정작 할 일을 소홀히 하면 후공정 단계에서 누군가 생명과 건강을 해칠 우려가 높아진다.

품질을 구현하지 못하면 고객사로부터 클레임이 걸린다고, 홈페이지에서 민원이 제기된다고 품질 확보에 신경 쓴다. 가동률을 맞추지 못하면 회사 수익에 직결되니, 간부회의에서 질책 받는다고 가동률에는 신경 쓴다. 납기를 맞추지 못하면 손실이 바로 발생하고 다음 일거리도 영향을 받는다고 생각하여 납기준수는 철칙으로 모두 이해한다. 하지만, 정작 소속 근로자들의 생명과 건강이 달린 안전에는 무관심한 결과 대부분의 사업장에서 여전히 안전업무는 안전업무를 담당하는 일부만의 일이라는 인식이 여전하고, 이러한 결과 산업재해는 빠르게 감소하지 못하고 있다.

한편, 건설현장의 안전업무는 시공단계를 중심으로, 제조현장의 안전업무

는 생산단계를 중심으로 이루어진다. 투입되는 자원도 많고 근로자수도 대부분을 차지하며 작업기간도 대부분을 차지한다는 이유로 우리는 보통 그렇게 인식하고 안전관리에 대응하고 있다. 그러나 안전은 시공과 생산만의 문제일 수는 없다. 시공과 생산 이전의 단계(경영진의 구상 및 검토, 설계, 발주, 유통, 운송, 구매, 검사, 설치, 시운전 등)와 그 이후의 단계(감리, 유지보수, 사후관리 등)도 안전관리에 있어 피할 수 없는 한 부분이고 역할이 요구되고 있다.

이미 결함 있도록 설계·제작된 기계·설비가 현장에 납품되면, 그 기계·설비는 늘 기민하고 심신의 상태가 평화롭고 지혜로운 근로자들이 운용하지 않는 그 때 사고를 일으킬 확률이 높아진다는 것을 우리는 알고 있다. 건설에서 사고의 위험성이 높아지는 공법과 작업절차를 구상하고 설계에 반영하면 이는 분명 설계단계의 문제점이다. 시공에서 아무리 노력을 하더라도 이미 결함 있는 설계로 인해 크게 높아진 위험성을 100% 안전하게 관리해 낼 수는 없다. 만약 이런 위험한 구상과 설계를 결정한 것이 경영진이라면 이는 경영진 정책결정단계의 문제점이다. 이러한 단계별 안전업무 관련 역할은 이미 산업안전보건법에 담겨 있고, 그에 맞는 역할이 요구되고 있다.

또한, 우리는 그간 기술중심의 사고조사와 분석 및 예방대책의 수립에 많은 역량을 쏟아 부었다. 하지만 이제는 기술중심에서 벗어나 다각적인 시각과 다양한 관점에서 사고발생에 영향을 미치는 요인을 찾아낼 필요성이 제기되고 있다. 사고의 중심에는 사람이 있기에 기술적 요인에만 집중하면 중요한 사고발생 원인들을 놓칠 우려가 계속 제기되고 있다. 최근 산업현장 위험성평가 측면에서 관심을 받는 시스템적 분석기법들은 기술중심에서 벗어나 사고조사와 분석의 관점을 넓히거나 깊이를 더하는데 도움이 되는 것으로 밝혀지고 있다.

이 연구에서는 여전히 산업현장에서 위험성평가 이행의 현장 작동성이 미흡하다는 지적 외 앞에서 기술한 여러 문제점들을 해소하는데 기여할 방안을 찾고자 한다. 사업장 근로자들의 생명과 건강을 보호하고, 산재감소를

더 빠르게 달성할 수 있도록 쏠단계¹⁾ 및 쏠부문(부서)²⁾이 사고예방을 목표로 고유의 업무기능에 부합하는 위험성평가를 고유의 본연의 업무로 인식하고 이에 참여할 방안을 구체화시키고자 한다. 최근 안전업무의 시작과 중심에는 위험성평가 절차가 있으므로 산업현장 쏠조직부문이 실질적으로 위험성평가에 참여하고 그 기능에 맞는 역할을 다 할 수 있는 방안에 대해 사망사고 사례분석을 통해 제시하고자 한다.

2. 범위 및 방법

사망사고 사례분석은 사회적 이슈가 되었던 건축물 해체공사 중 붕괴사고, 열매체유 보일러 화재·폭발사고, TMAH 급성중독사고 등 3종류를 중심으로 하되, 제안하는 체크리스트의 평가 항목을 일반화시키는데 도움이 될 것으로 판단된 일부 사고사례는 분석에 포함하여 수행하였다. 이 3종류의 사고분석을 통해 사고가 발생하는데 원인으로 작용한 문제점(이 연구의 핵심 목표인 전체 조직부문 구성원들이 사고예방 관련하여 마땅히 참여하고, 또 이행해야 하는 안전관리 역할의 발굴에 중점)을 확인하고 동종유사재해 재발 방지에 요구되는 대책을 파악하였다. 이러한 분석을 통해 소규모 현장에서도 실질적으로 적용 가능한 위험성평가 도구인 체크리스트 방법을 제시하고자 하였다. 각 사례별 사고분석에서 도출된 주요 사고원인을 파악하고 해소하는데 도움 되는 체크리스트 항목을 정리하였다.

사고분석 과정은 전통적 분석 과정과 최근 부각되기 시작한 시스템적 분석 과정의 2개 팀으로 구분하였다. 연구 팀 간 연구 내용에 대한 교류 없이 별도로 분리된 분석 작업을 수행하였다. 이러한 두 방향의 서로 다른 접근법을 통해 문제점의 도출과 체크리스트 항목의 제안에 있어 그 구성과 내용이 다른 결과를 내는 것을 확인하였다.

1) 단위 사업장 단위를 넘어서는 여러 사업장의 업무흐름에 따라 분담된 기능을 의미한다.
2) 단위 사업장 내에서 업무 기능이 분담되고 구획된 하나의 업무 영역을 의미한다.

3종류 사고분야 내·외부 전문가들의 자문의견을 모으고 검토하여 연구에 반영함으로써 연구내용의 품질을 높이는데 주력하였다. 동일한 사고라 하더라도 원인에 대한 분석과 대책의 적용에 대해 전문가들은 서로 다른 접근 방식과 관점을 나타낼 수 있으므로 가급적 많은 전문가들의 의견을 수렴하고 분석하였다.

또한, 3종류 사고의 분석 과정을 거쳐 문제점을 도출하고, 체크리스트의 구성 항목을 제안하는 과정이 어느 정도 합리적인지, 향후 통계적 또는 정량적 위험성평가 도구의 활용까지 도달하는데 어느 정도의 시간과 노력이 필요할지 파악하고자 다른 위험성평가 도구와 비교를 시도해 보았다. 비교에 사용된 위험성평가 도구는 과거 수십 년간 국내·외에서 다양하게 수행된 연구와 현장 적용을 통해 일부 국가에서는 사용이 의무화 되는 등 활용성을 넓히고 있는 범죄예측 위험성평가 도구이다. 이 도구들과 정성적 비교를 통해 이 연구에서 제안하는 위험성평가 도구(체크리스트)의 발전방향에 대해서도 살펴보았다.

연구수행의 추진체계 중 3종류의 분야별 사고사례의 분석을 통한 문제점의 도출과 체크리스트 구성 항목의 제안은 연구의 전문성과 집중이 특히 요구되는 부분이다. 1팀은 전통적 분석 방식을 맡았다. 박주동 연구위원을 중심으로 붕괴사고에 박주동 연구위원과 이은진 과장, 화재·폭발사고에 전소영 대리, 급성중독사고는 백빛나 대리가 분담하였다. 2팀은 시스템적 분석 방식을 전담했는데, 최근 수년간 이 방식에서 여러 연구를 수행한 서동현 연구위원과 박장현 과장이 담당하였다.

3. 선행연구 고찰

고재욱 등(2020년)은 ‘정량적 위험성평가(CPQRA) 방법 도입 방안 마련 연구’에서 중대산업사고 예방과 관련하여 그간 피해영향분석(Consequence analysis, CA) 수준에 머물러 있던 화학공정의 위험성평가에 대해 ETA(사

건수분석)로부터 빈도분석(Frequency analysis, FA)을 수행하고, 개인적 위험성과 사회적 위험성을 구하는 정량적 위험성평가(Chemical Process Quantitative Risk Assessment, CPQRA)를 통해 화학공정의 안전관리를 한 단계 끌어 올릴 방안을 제시하였다.

정홍인 등(2019년)은 ‘위험성평가 실용화 방안’에서 소규모사업장을 위한 위험성평가 실용 기법을 제안하고자 30개의 관련 기법을 분석하고 검토한 결과를 제시하였다. 이 연구에서는 이미 현장에서 널리 사용된다는 이유로 체크리스트 기법은 제외하였다고 밝혔다. 소규모사업장에서 활용성이 높다고 판단되는 기법으로 HEA³⁾, FMEA⁴⁾, PHA⁵⁾, 4M⁶⁾ 등을 선정하였다.

백종배 등(2015년)은 ‘위험성평가 내실화 방안 연구’를 통해 2013년부터 국내에서 본격 시행된 위험성평가제도가 산업현장의 이해 부족, 업무 부담, 투자 부담 등의 원인으로 형식적으로 수행되는 문제점을 해소하고, 올바른 정착을 위한 활성화 방안을 마련하며, 향후 정책의 수립 및 법령의 제·개정 에 활용 가능한 근거자료를 제공하였다.

박준호(2014년)는 ‘정량적 위험성 평가에 의한 소규모 건설현장의 안전 작업 최적 매뉴얼 설계’에서 공사금액 3억원 미만의 소규모현장의 재해특성을 반영한 공종별 최적 안전작업매뉴얼을 개발하였다. 안전보건공단이 제공하는 광주·전남지역 3억원 미만 현장의 391건(2013년 1월~8월)의 재해통계자료를 활용하여 ‘중’, ‘상’ 수준의 위험공종을 파악하고, 다시 이들 공종에 대한 객관성·신뢰성 확보를 위하여 설문조사를 실시하여 위험공종의 순위를 파악하였다. 이 결과를 취합하여 위험공종을 최종선정하고 참고

3) Human Error Analysis, HEA: 사람의 불안정한 행동으로 인해 발생 가능한 피해에 대해서 그 원인을 파악하고 추적하여 문제점들을 개선하는 기법

4) Failure Mode Effects Analysis, FMEA: 시스템 위험분석을 위하여 일반적으로 사용되는 정성적, 귀납적 분석기법

5) Preliminary Hazard Analysis, PHA: 미국 육군의 군용규격 MIL-STD-882로부터 유래된 것으로 시스템 설계 안에 내재돼 있거나 관련된 위험요인, 상황, 사건 등을 제품 설계단계 초기에 식별·제거하는 기법

6) 4M: 잠재한 위험요인을 기계적 요인(Machine), 물질/환경적 요인(Media), 인적 요인(Man), 관리적 요인(Management) 등으로 분석하는 기법

문헌, 기술자료, 전문가 인터뷰 등을 통해 매뉴얼을 개발한 후 전문가집단 평가로 최적의 매뉴얼을 개발하였다.

김태구 등(2013년)은 ‘설계·제조 단계에서의 위험성평가 모델 연구’에서 산업기계 관련 재해의 73.5%가 기계결함 또는 방호장치 덮개 미설치 등과 같은 설계·제조 단계에서의 문제로 드러났기에, 근원적 안전화 방안으로서 기계류의 설계·제조 단계부터 위험성평가를 실시하여 보다 안전하고 우수한 제품을 생산할 수 있도록 국제기구(ISO, IEC) 및 외국의 설계·제조 단계의 위험성평가 및 매뉴얼을 조사하여 국내에 적용 가능한 위험성평가 지침 및 매뉴얼을 개발하였다.

이종영 등(2010년)은 ‘산업용기계류의 위험성평가제도 도입방안 연구’를 통해 과거 산업용기계류에 의한 재해 발생비율과 사망사고 비율이 각각 전체 산업재해에서 25%를 점유하는 현상과 관련하여, 재해원인을 분석하고 재해 기인 산업용기계류의 분류, 예방 가능성 등의 결과를 도출하여 산업안전보건법상의 제도 정비방안을 제시하고, 사용단계에서의 관리적 요인 또는 구매 등 유통 단계에서의 해결 과제도 병행 검토하였다.

박두용 등(2009년)은 ‘위험성 평가제도의 구체적인 도입방안에 관한 연구’에서 우리나라에 산업안전보건 규제정책의 기본원리로 위험성평가제도를 도입하기 위한 방안을 마련하고자 위험성평가제도의 기본적 개념, 철학적 원리, 본질적 의미를 궁구하고, 외국에서 위험성평가제도를 도입한 과정과 현황을 파악하여, 국내에 도입할 내용, 방안 및 인프라 구축방안 등을 제시하였다.

박두용 등(2004년)은 ‘위험성 평가제도의 도입방안에 대한 연구’에서 1989년 발표된 EU지침(EU Council Directive 89/391/EEC)과 이를 중심으로 유럽의 여러 국가들이 위험성평가 제도를 도입하는 방향으로 산업안전보건 정책을 수립하고 제도를 개혁하는 추세와 관련하여 유럽에서 도입한 위험성평가 제도는 ‘위험성평가라는 원리를 산업안전보건정책의 기본원리로 채택하여 정부의 개입원리와 사업주의 역할에 대하여 근본적인 패

러다임의 전환을 이룬 것'으로 정리하면서, 영국의 제도를 배경으로 유럽에서 도입한 위험성평가 제도 자체를 고찰하고 우리나라에 그러한 위험성평가 제도를 도입하는 방안을 모색하였다.

이 연구에서 수행하고자 하는 핵심 주제는 사업장에서 이루어지는 위험성평가 절차에 이미 고유의 업무영역을 구축한 해당부서(관리감독자)가 그 고유의 업무영역과 관련하여 안전관리에서 무엇을 해야 하는지 사고사례 분석을 통해 고찰해 보자는 것이다. 사고사례별 각 단계에서, 사업장 내 및 사업장 간 업무단계에서 사고예방을 위해 사고 전에 이루어졌어야 하는 각 부서별 역할의 샘플을 제시함으로써 실질적이고 실천적인 위험성평가의 정착에 도움이 되기를 기대해 본다. 이러한 연구는 이전에 시도된 여러 관련 연구와 특히 차별성 있는 것으로 파악된다.

II. 위험성평가의 의의와 기능



II. 위험성평가의 의의(意義)와 기능

1. 위험성평가 제도의 개요

산업안전보건법 제36조(위험성평가의 실시)는 2014년 3월 13일 시행된 법률 제11882호(2013년 6월 12일)에서 제41조의2(위험성평가)⁷⁾로 처음 신설되었던 조문이다. 이 조문이 2020년 1월 16일 시행된 법률 제16272호(2019년 1월 15일)로 개정⁸⁾되었다.

유럽에서 처음 법제화된 위험성평가 제도는 과거에 이루어지던 안전관리와 차원이 다른 새로운 개념이나 접근방식은 아니었다. 유해·위험요인(Hazard)을 찾고 관련 위험성(Risk)을 없애거나 낮추기 위해 평가하고 대책을 수립하여 관리하는 등 해결에 요구되던 개별적 접근방식을 일반화시키고 종합하여 기본적 개념을 재구성하고 절차를 정리한 것이었다. 유럽에서는 사업장 안전관리에 구체적으로 적용하던 여러 제도에도 불구하고 위

7) 제41조의2(위험성평가) ① 사업주는 건설물, 기계·기구, 설비, 원재료, 가스, 증기, 분진 등에 의하거나 작업행동, 그 밖에 업무에 기인하는 유해·위험요인을 찾아내어 위험성을 결정하고, 그 결과에 따라 이 법과 이 법에 따른 명령에 의한 조치를 하여야 하며, 근로자의 위험 또는 건강장해를 방지하기 위하여 필요한 경우에는 추가적인 조치를 하여야 한다. ② 사업주는 제1항에 따른 위험성평가를 실시한 경우에는 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 실시내용 및 결과를 기록·보존하여야 한다. ③ 제1항에 따라 유해·위험요인을 찾아내어 위험성을 결정하고 조치하는 방법, 절차, 시기, 그 밖에 필요한 사항은 고용노동부장관이 정하여 고시한다.

8) 제36조(위험성평가의 실시) ① 사업주는 건설물, 기계·기구, 설비, 원재료, 가스, 증기, 분진, 근로자의 작업행동 또는 그 밖의 업무로 인한 유해·위험요인을 찾아내어 부상 및 질병으로 이어질 수 있는 위험성의 크기가 허용 가능한 범위인지를 평가하여야 하고, 그 결과에 따라 이 법과 이 법에 따른 명령에 의한 조치를 하여야 하며, 근로자에 대한 위험 또는 건강장해를 방지하기 위하여 필요한 경우에는 추가적인 조치를 하여야 한다. ② 사업주는 제1항에 따른 위험성평가 시 고용노동부장관이 정하여 고시하는 바에 따라 해당 작업장의 근로자를 참여시켜야 한다. ③ 사업주는 제1항에 따른 평가의 결과와 조치사항을 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 기록하여 보존하여야 한다. ④ 제1항에 따른 평가의 방법, 절차 및 시기, 그 밖에 필요한 사항은 고용노동부장관이 정하여 고시한다.

험성평가 제도를 1989년 유럽연합 회원국의 기본적인 산업안전보건 정책⁹⁾으로 채택하였고, 이후 각 회원국들은 EU지침에 부합하여 산업안전보건법령을 제정하거나 개정하는 과정을 거치게 되었다.

2. 위험성평가 이행 주체

산업안전보건법에서는 원칙적으로 사업주를 법이 요구하는 안전보건조치의 의무자로 명시하고 있다. 사업주에게는 일반적으로 인식되는 건설현장의 시공단계, 제조공장의 기계설비 및 물질의 사용단계뿐만 아니라 발주·설계·제조·수입 또는 건설 시 등 전체 단계에서 근로자 보호를 위한 안전보건조치의 이행이 요구된다. 그리고 법제67조 건설공사발주자의 산재예방조치, 법제76조 건설공사도급인의 안전조치, 제80조 유해·위험한 기계·기구 방호조치, 제81조 기계·기구 대여자의 조치 등은 사업주 외에 그 의무 이행자를 더욱 구체적으로 명시한 조문이다. 건설공사발주자의 경우 건설공사의 계획·설계·시공단계에서 단계별 안전보건조치가, 건설공사도급인의 경우 타워크레인 등의 설치·작동 또는 설치·해체·조립 등의 작업 시 안전보건조치가 요구된다.

사업주와 사업주를 대신하여 안전보건조치를 강구하고 이행하는 안전보건관리책임자, 전체 조직부문(각 업무분야 또는 영역별)의 관리감독자 등은 소관 업무의 계획, 발주, 설계, 제조(생산, 생산관리, 공정관리 등), 수입, 건설(시공, 감리 등), 사용, 설치, 해체, 조립, 대여, 구매 등 모든 업무(작업) 단계에서 각 단계별로 요구되는 근로자 보호를 위한 안전보건조치를 이행

9) EU지침(EU Council Directive 89/391/EEC) 제2장제6조는 위험성평가에 관한 규정이었다. 사업주는 근로자의 안전보건 상 보호를 위해 직업상 위험예방, 정보 및 훈련제공, 필요한 조직과 수단의 제공 등의 필요한 조치를 취해야 한다는 것, 사업주는 작업 환경에 변화가 있을 경우 적절한 조치를 취해야 하고 보다 개선된 작업환경을 조성하도록 노력할 것을 규정하였다. 또한 이러한 수단이나 방법을 실행할 때 지켜야 할 예방원칙에 대해 규정하였다.

할 의무를 지게 된다. 이미 법적으로 명확한 사항이지만 안전관리자, 보건관리자, 안전보건관리담당자는 사업장에서 직접 현장에 대해 안전보건조치를 담당하거나 이행하는 주체가 아니다. 현장의 안전보건조치를 직접 담당하고 이행하여야 할 주체는 사업주, 경영책임자등, 안전보건관리책임자, 관리감독자이다. 안전관리자, 보건관리자, 안전보건관리담당자는 안전 또는 보건에 관한 기술적인 사항에 대해 사업주 또는 안전보건관리책임자를 보좌하고 관리감독자에게 지도·조언하는 업무를 수행하는 것이 법이 부여한 기능¹⁰⁾이다.

〈표 II-1〉 산업안전보건법상 안전보건관리 의무사항

| 구 분 | 주요 내용 |
|----------------------------------|--|
| 사업주 의무 ¹¹⁾ | 발주·설계·제조·수입 또는 건설 시 기준의 준수, 발주·설계·제조·수입 또는 건설에 사용되는 물건으로 인해 발생하는 산재 방지를 위한 필요 조치 |
| 건설공사발주자의 산재예방조치 ¹²⁾ | 건설공사의 계획, 설계 및 시공단계에서 단계별 조치 |
| 건설공사도급인의 안전조치 ¹³⁾ | 타워크레인 등이 설치·작동하고 있거나 설치·해체·조립 등의 작업이 이루어지는 경우 안전보건조치 |
| 유해·위험한 기계·기구 방호조치 ¹⁴⁾ | 유해·위험 기계·기구는 방호조치 없이 양도, 대여, 설치 또는 사용에 제공하거나 양도·대여의 목적으로 진열해서는 아니 됨 |
| 기계·기구 대여자 조치 ¹⁵⁾ | 기계·기구·설비 또는 건축물 등을 타인에게 대여하거나 대여받는 자는 필요한 안전보건조치 |

10) 산업안전보건법 제17조(안전관리자)제1항, 제18조(보건관리자)제1항 및 제19조(안전보건관리담당자)제1항

11) 산업안전보건법 제5조(사업주 등의 의무)제2항이 적용되는 자는 1.기계·기구와 그 밖의 설비를 설계·제조 또는 수입하는 자, 2.원재료 등을 제조·수입하는 자, 3.건설물을 발주·설계·건설하는 자이다. 같은 조 제1항은 사업주가 이행할 사항으로 1.법과 명령으로 정하는 산재예방 기준, 2.쾌적한 작업환경의 조성 및 근로조건 개선, 3.사업장 안전보건정보를 근로자에게 제공 등을 정하고 있다.

12) 산업안전보건법 제67조(건설공사발주자의 산업재해 예방 조치)제1항은 대통령령으로 정하는 건설공사(시행령 제55조: 총공사금액 50억원 이상)의 경우 1.계획단계: 중점관리할 유해·위험요인과 이의 감소방안을 포함한 기본안전보건대장 작성, 2.설계단계:

중대재해처벌법 중 중대시민재해의 경우, 사업주와 경영책임자등에게는 사업 또는 사업장에서 생산·제조·판매·유통 중인 원료나 제조물의 설계·제조·관리상 결함으로부터 이용자 또는 그 밖의 사람을 보호하기 위한 안전조치의 이행을 의무로 부여하였다.

〈표 II-2〉 중대재해처벌법상 안전보건관리 의무사항

| 구 분 | | 주요 내용 |
|----------------|---------------------------------------|--|
| 중대 산업 재해 | 사업주와 경영책임자등의 의무 ¹⁶⁾ | 실질적으로 지배·운영·관리하는 사업 또는 사업장에서 종사자의 안전보건 확보를 위하여 조치 |
| | 도급,용역,위탁 등 관계에서의 의무 ¹⁷⁾ | 제3자에게 도급, 용역, 위탁 등을 한 경우 실질적으로 지배·운영·관리책임 있는 때, 제3자의 종사자에게 중대산업재해가 발생하지 않도록 조치 |

기본안전보건대장을 설계자에게 제공하고 설계자로 하여금 유해·위험요인의 감소방안을 포함한 설계안전보건대장 작성하게 하고 확인할 것, 3.시공단계: 최초 도급받은 수급인에게 설계안전보건대장을 제공하고 이를 반영하여 안전한 작업을 위한 공사안전보건대장을 작성하게 하고 그 이행여부의 확인을 규정하였고, 제2항은 발주자가 각 대장의 내용 적정성을 안전보건 전문가로부터 확인받도록 규정하였고, 제3항은 발주자가 수급인에게 건설현장의 안전 확보에 필요한 적정한 비용과 기간을 계상·설정하도록 규정하였고, 제67조제1항·제2항 위반 시 1천만원 이하 과태료를 부과하도록 규정하였다.

- 13) 산업안전보건법 제76조(기계·기구 등에 대한 건설공사도급인의 안전조치)는 도급인이 자신의 사업장에서 타워크레인 등 대통령령으로 정하는 기계·기구 또는 설비 등이 설치되어 있거나 작동하고 있는 경우 또는 이를 설치·해체·조립하는 등의 작업이 이루어지고 있는 경우 필요한 안전조치 및 보건조치를 규정하였고, 제76조 위반 시 3년 이하의 징역 또는 3천만원 이하의 벌금을 벌칙으로 규정하고 있다.
- 14) 산업안전보건법 제80조(유해하거나 위험한 기계·기구에 대한 방호조치)는 제1항·제2항에서 누구든지 이 규정을 위반하지 못한다고 규정하였고, 제3항은 사업주에게 방호조치가 정상기능을 발휘하도록 상시 점검하고 정비할 의무를 부여하였고, 제4조는 사업주와 근로자에게 방호조치 해체 시 요구되는 안전조치 및 보건조치를 규정하였으며, 제80조제1항·제2항·제4항 위반 시 1년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금을 벌칙으로 규정하고 있다.
- 15) 산업안전보건법 제81조(기계·기구 등의 대여자 등의 조치)는 대통령령으로 정하는 기계·기구·설비 또는 건축물 등을 타인에게 대여하거나 대여받는 자는 필요한 안전조치 및 보건조치를 할 것을 규정하였고, 제81조 위반 시 3년 이하의 징역 또는 3천만원 이하의 벌금을 벌칙으로 규정하고 있다.
- 16) 중대재해 처벌 등에 관한 법률 제4조(사업주와 경영책임자등의 안전 및 보건 확보의

| 구분 | 주요 내용 |
|----------------|--|
| 중대 시민 재해 | 사업주와 경영책임자등의 의무 ¹⁸⁾ 실질적으로 지배·운영·관리하는 사업 또는 사업장에서 생산·제조·판매·유통 중인 원료나 제조물의 설계, 제조, 관리상의 결함으로 인한 이용자 또는 그 밖의 사람의 생명, 신체의 안전을 위한 조치 |

따라서, 법이 부여한 안전보건조치 의무를 이행하기 위하여 업무로 인한 유해·위험요인을 찾아내고, 위험성의 크기를 평가하며, 법 또는 명령에 따른 조치를 하고, 이 과정에 근로자의 참여조치, 기록과 보존 등을 실시할

무)는 사업주 또는 경영책임자들에게 실질적으로 지배·운영·관리하는 사업 또는 사업장에서 종사자의 안전·보건상 유해 또는 위험을 방지하기 위하여 이행하여야 할 조치를 규정하였고, 위반 시 사망자 1명 이상 발생에 이르게 한 사업주 또는 경영책임자들은 1년 이상의 징역 또는 10억원 이하의 벌금을 규정하고 징역과 벌금은 병과할 수 있도록 하였고, 법인 또는 기관에 대해서는 50억원 이하의 벌금을 양벌규정으로 정하였다. 또한 위반 시 사망자의 중대산업재해에 이르게 한 경우 7년 이하의 징역 또는 1억원 이하의 벌금을 규정하였고, 법인 또는 기관에 대해서는 10억원 이하의 벌금을 양벌규정으로 정하였다.

- 17) 중대재해 처벌 등에 관한 법률 제5조(도급, 용역, 위탁 등 관계에서의 안전 및 보건 확보의무)는 사업주 또는 경영책임자들은 사업주나 법인 또는 기관이 제3자에게 도급, 용역, 위탁 등을 행한 경우에는 제3자의 종사자에게 중대산업재해가 발생하지 아니하도록 조치할 것을 요구하면서 이는 사업주나 법인 또는 기관이 그 시설, 장비, 장소 등에 대하여 실질적으로 지배·운영·관리하는 책임이 있는 경우에 한정하도록 규정하였고, 위반 시 사망자 1명 이상 발생에 이르게 한 사업주 또는 경영책임자들은 1년 이상의 징역 또는 10억원 이하의 벌금을 규정하고 징역과 벌금은 병과할 수 있도록 하였고, 법인 또는 기관에 대해서는 50억원 이하의 벌금을 양벌규정으로 정하였다. 또한 위반 시 사망자의 중대산업재해에 이르게 한 경우 7년 이하의 징역 또는 1억원 이하의 벌금을 규정하였고, 법인 또는 기관에 대해서는 10억원 이하의 벌금을 양벌규정으로 정하였다.
- 18) 중대재해 처벌 등에 관한 법률 제9조(사업주와 경영책임자들의 안전 및 보건 확보의무) 제1항은 생산·제조·판매·유통 중인 원료나 제조물의 설계·제조·관리상의 결함, 제2항은 공중이용시설 또는 공공교통수단의 설계·설치·관리상의 결함, 제3항은 공중이용시설 또는 공공교통수단과 관련하여 제3자에게 도급·용역·위탁 등을 행한 경우의 책임에 대한 것으로 이를 위반하여 중대시민재해(사망자 1명 이상 발생)에 이르게 한 사업주 또는 경영책임자들은 1년 이상의 징역 또는 10억원 이하의 벌금에 처하고 이 경우 징역과 벌금은 병과할 수 있으며, 중대시민재해(사망자 1명 이상 외 해당하는 부상자 또는/및 질병자 발생)에 이르게 한 사업주 또는 경영책임자들은 7년 이하의 징역 또는 1억원 이하의 벌금에 처하는 것으로 규정하고 있다.

위험성평가의 이행 주체¹⁹⁾는 사업주, 경영책임자등, 안전보건관리책임자, 관리감독자가 된다.

박두용 등(2009년)은 위험성평가 영역에 대해 크게 2대 분야로 구분한 바 있다. 기계·설비 등의 자체적 결함과 관련되어 제조물의 공급자가 행할 영역, 사용상의 문제와 관련된 산안법상 사업주의 영역이 그것이다. 공급자의 영역에서는 위험생산자 부담원칙²⁰⁾, 불안전제품 시장진입 제한원칙²¹⁾이 기본적인 철학으로 제시됐고, 사용사업주 영역에 대해서는 사업주 역할인 관리/운용, 작업자 역할인 안전한 작업을 강조하며, 그 대표적 수단으로 공급 단계인 시장진입전단계(Pre-market)에서는 인증·표시·정보제공을, 사용 단계인 시장(사용소비)단계(On-market/In-use)에서는 점검·측정·진단/참여·협력을 제시하였다.²²⁾

-
- 19) 사업장 위험성평가에 관한 지침(고용노동부고시 제2020-53호) 제5조(위험성평가 실시주체)는 위험성평가 실시하여야 할 주체로 제1항에서 사업주, 제2항에서 도급사업주 및 수급사업주로 명시하고 있고, 제7조(위험성평가의 방법)제1항은 안전보건관리책임자 등 사업의 실시를 총괄 관리하는 사람이 위험성평가의 실시를 총괄 관리하게 하고, 관리감독자가 유해·위험요인을 파악·그 결과에 따른 개선조치를 시행하게 할 것, 안전관리자·보건관리자 등은 위험성평가의 실시에 관하여 안전보건관리책임자를 보좌하고 지도·조언하게 할 것을 명시하고 있다.
 - 20) 위험생산자 부담원칙(당사자 책임부담원칙): 현대사회의 인위적 위험은 대부분 경제활동 과정에서 창출된다. 이러한 위험은 생산하는 자가 관리하도록 할 때 비로소 실질적으로 관리가 가능하다. 위험생산자가 위험에 대한 관리부담을 지도록 해야 형평성에도 부합되며 시장원리에도 맞다.(박두용 등, 2009년, p. 58.)
 - 21) 불안전제품 시장진입 제한원칙(시장진입 시 안전확보원칙): 서구의 위험성평가 기본 철학은 안전이 확보되지 않은 제품은 원천적으로 시장진입을 금지함으로써 근원적인 안전을 확보하는 것이다. 불안정한 기계·설비가 일단 유통된 이후 사용자(사업주든 노동자든)에게 제품 자체의 위험을 관리하도록 책임을 묻는 것은 실제로 작동되기 어렵다. 사업주에게는 일정한 안전인증을 받은 제품만을 사용하도록 하는 책임만 부여하면 된다.(사용사업주에게 그러한 의무를 부담시킬 필요도 없이 사전에 불안정한 제품이 생산·유통되지 못하도록 하는 체계를 갖추면 된다.)(박두용 등, 2009년, pp. 58~59.)
 - 22) pp. 55~67.

3. 위험성평가의 안전보건조치 수준

산업활동이 이루어지는 산업현장에서 근로자를 보호하기 위하여 요구되는 안전보건조치의 수준은 어느 정도까지 요구되는가? 이는 실제적으로 위험성평가에서 위험성의 크기가 허용되는 범위는 어느 정도까지인가와 같거나 비슷한 의미가 된다.

작업이 이루어지는 공정과 장소, 작업내용(공사 종류), 기계·설비, 원료 또는 자재가 되는 물질과 물건 등은 이미 필연적으로 고유한 성질과 기능에 부합하는 위험성을 보유하고 있다. 이들이 단독으로 사용되거나 다른 것들과 결합 또는 해체되면서 사고와 질병을 일으킨다.

반드시 그러하지는 않지만, 직관적으로 산업재해의 발생 또는 합리적 예견성의 크기(가능성 및 중대성)가 위험성의 크기로 이해된다. 그런데 과거에 5년간(1931년 4월20일~1936년 3월1일) 하루 평균 3,500여명, 최대 5,218명 총2만1천여명의 남성 인력이 투입되어 1936년 완성된 미국의 후버댐 건설과정에 96명²³⁾의 산재사망자가 발생한 사실이 지금 시점에서, 그러한 산재의 결과가 다시 반복된다면, 사회적으로 용인될 수 있다고는 아무도 생각하지 않는다. 위험성의 크기가 허용되는 범위는 기술적 해결 가능성과 투자비용 측면 외에 당시에 사회적으로 받아들여지는 인식의 정도 등을 고려하여 법적으로 기준이 제시된다. 법적인 기준이 포괄적이라 명확하지 않은 경우에는 판례가 쌓이면서 구체화된다. 사업주 등은 이러한 법적 기준, 판례 등을 참고하여 합리적으로 사업 또는 사업장에서 이행할 위험성

23) 후버댐 홈페이지에서는 공식적으로 산재사망자수 96명을 밝히고 있다. 후버댐은 25피트×25피트에서 25피트×60피트 사이의 각 블록을 쌓는 방식으로 건설되었다. 산재사망자들은 익사, 발파, 낙석, 미끄러짐, 추락 등으로 댐 현장에서 사망한 남성들이다. 이 숫자에는 건설기계, 트럭 등 차량, 질병으로 사망한 사망자들은 포함되지 않았다. 일부 자료에서는 112명으로 밝히기도 하는데, 이에는 일레로 댐 건설 승인 6년 전(건설시작 8년 전) 콜로라도강 바지선에서 지질조사 수행 중 익사한 경우 등이 포함된 결과로 파악되는 등 산재사망자수는 산재 인정 범위, 작업 장소, 대상, 기간 등에서 자료 간의 인식차이로 인해 숫자를 일치시키지 못했다.

의 크기를 정하게 된다.

이와 관련하여 영국의 경우 일찌감치 판례법에서 정착된 ‘Reasonably practicable’의 개념을 위험성평가에 일관되게 적용하여 사례별로 구체화시키기 위해 노력해 오고 있다. ‘Reasonable practicability’²⁴⁾의 영국판례법(Case Law)상 의미에 대해 정리한 자료²⁵⁾가 있지만, 원론적인 기술이라 바로 와 닿지는 않기에 몇 가지 영국, 스코틀랜드 판례를 통해 위험성의 허용범위를 정하는 기준으로 제시하고자 한다.

- [2010] EWCA Crim 495 No. 2009/03746/D2
Regina v Upper Bay Ltd., 항소법원 형사부(Court of Appeal Criminal Div.)
2010년 3월 2일 화요일
- (사건 개요) 2005.10.18., 11:30경, Porthcawl, Trecco Bay의 수영장 Splashlands에서 아버지 및 남동생(4세)과 동행했던 7세 Chad Mole이 물에 빠져 심각한 뇌손상을 입은 사고가 발생
- (신청 개요) 2008.6.18. Cardiff 형사법원에서 수영장 측인 Upper Bay Ltd.의 산업안전보건법(HSW Act 1974) sec. 3(1) and 33(1)(a) 위반 혐의로 유죄판결하였고, 2009.7.9. 판사가 15만 파운드의 벌금을 부과한데 대해 항소를 허가해 달라는 Upper Bay Ltd.의 신청(Application)건임
- (사고 발생 주요 내용) 수영장에서 8세 미만의 어린이는 16세 이상의 보호자와 동행하도록 요구받음. 사고 당시 4명의 인명구조원이 근무하였음. Chad는 수영을 하지 못함. 아버지는 Chad에게 수영부력장구를 챙겨 주지 않았음. 처음에는 가족 3명 모두 수영장 얇은 곳에 머물렀으나, 어느 순간 Chad는 깊은 곳으로 이동했다가

24) 박두용 등(2009년)은 ‘Reasonably practicable’에 대해 싱가포르 정부의 WSHA 관련 웹사이트 자료를 인용하면서 ‘특정한 상황에 있어서 리스크의 정도와 이 리스크를 회피하는데 필요로 하는 시간, 노력, 비용 및 물리적 곤란 등을 고려하여 행위를 할 수 있는 경우 그 행위는 Practicable 한 것으로 간주한다. 이러한 행위가 Reasonable 한 것인지 여부는 일반적으로 다음의 4가지를 고려하여 판단한다. ① 위험성: 발생 우려가 있는 상해 또는 건강에의 해로움의 중대성, ② 앞의 상해 또는 건강에의 해로움이 발생한 리스크의 정도(개연성), ③ 해당 유해위험요인(Hazard)의 제거·절감·억제 수단에 관한 정보(이미 알려진 사실이나 정보를 말하는 것으로 알 수 있었는가 아닌가 여부의 판단), ④ 안전대책이 이용될 수 있는 가능성, 적합성 및 비용’으로 설명하였다.(pp. 157~174)

25) Reducing risks, protecting people, HSE, 2001. pp. 62~63.

다른 수영객이 수영장 깊은 곳 바닥에서 Chad를 발견했고, 인명구조원이 응급처치 후 구급차를 불러 병원에 옮겼으나 뇌손상에 이르게 됨.

당시 아버지는 주로 남동생과 시간을 보냈음. 인명구조원 중 1명은 Chad가 깊은 곳 근처로 오는 것을 보고 보호자에게 돌아가라고 말했으나 이후 계속 안전을 확인하지 않았고, 수영장 근처에 있던 2명은 모두 수영장을 등지고 반대편을 주시하였음.

- (판결 요지) 수영장 측은 절대적인 안전을 보장할 의무는 없으나, 시설을 이용하는 사람들이 합리적으로 실행 가능한 범위에서(So far as reasonably practicable) 위험에 노출되지 않도록 사업을 운영하는 것이 의무임. 아버지는 Chad가 깊은 곳으로 가는 위험에 대비하여 면밀한 감독을 할 의무가 있었음. 수영장 측과 아버지가 Chad에게 지고 있던 의무는 다른 의무이지만 동시에 같은(Concurrent) 의무였음. 그러나 수영장 측은 보호자의 감독을 느슨할 수 있고, 흔히 아이들이 보호자로부터 이탈하는 현실을 인식하고 예상해야 했음. 수영장 측은 어린이가 익사하는 위험을 피하기 위해 합리적으로 할 수 있는 모든 일을 해야 하므로 수영장 측의 책임을 인정함. 따라서 항소(Appeal)는 기각됨.

○ (Scotland) [2016] UKSC 6 On appeal from [2014] CSIH 76
Kennedy (Appellant) v Cordia (Services) LLP (Respondent)
2016년 2월 10일

- (사건 개요) Kennedy는 Cordia에 의해 가사도우미(Home carer)로 고용됨. 업무는 고객의 가정을 방문하여 개인간병(Personal care) 하는 것임. 2010년 12월 18일 오후 8시경, 한 노부인을 방문할 당시 몇 주간 눈이 왔고 얼음이 언 혹독한 겨울날씨였음. 동료가 운전한 차를 타고 인도 옆에 주차된 후 인도를 걸어감. 인도는 경사져 있었고, 빙판의 인도 위는 방금 내린 눈으로 덮여 있었음. Kennedy는 밑창이 뾰족한 플랫폼부츠(flat boots with ridged soles)를 신고 있었고, 몇 걸음 걸다가 미끄러져 넘어지며 손목을 다침.



〈그림. flat boot with ridged soles의 예시〉²⁶⁾

26) 그림 출처: [google.com/search?q=flat+boot+ridged+sole](https://www.google.com/search?q=flat+boot+ridged+sole); Rundholz Leather Ridged Sole Boots in Black|Lyst

- (주요 내용) 1심은 전문가의 증거에 근거하여 Cordia(회사 측)가 보호용신발(Protective footwear)을 제공하지 않았다는 이유로 Cordia에 책임있다고 판결했으나, 그 판결은 Inner House의 Extra Division에 의해 번복됨. 대법원에 대한 Kennedy의 상고는 Cordia의 법적 의무 위반여부 등에 관한 것임.
- (판결 요지) 대법원(The Supreme Court)은 만장일치(5명 재판관)로 Kennedy의 상고(Appeal)를 허가함. 문제(Issues)에 접근하는 가장 논리적인 방법은 위험성평가의 적합성(Suitability)과 충분성(Sufficiency)을 고려하는 것임. Kennedy는 눈과 빙판 위에서 미끄러지거나 넘어질 위험성이 있었고, 이는 매년 그런 사고를 겪은 재택 간병인의 사례를 통해 회사 측이 알고 있는 사항이었음. 이 위험성은 2005년, 2010년 위험성평가에서 확인된 사항임. 예방조치로 기술된 적절한 신발(Appropriate footwear)의 착용에서 무엇이 적절한지에 대해서는 명시되지 않았음. 위험성(Risk)은 노동자가 수행하는 활동의 특성에서 발생하는 위험성뿐만 아니라 업무 중 노동자가 노출되는 자연환경에서 발생하는 위험성도 포함함. 회사 측은 그 인도가 어떠한 상태인지에 상관없이 Kennedy의 안전에 대한 위험성과 그 위험성을 감소시킬 수단을 고려할 수 있었음(법적 의무도 있었음). 회사 측은 매년 사고의 이력을 알고 있었고, 그 결과가 잠재적으로 심각하다는 것도 알고 있었음. 개인용보호구(PPE)는 실행 가능한 한(As far as was practicable) 적절히(Adequately) 위험성을 통제(Control)해야 함. 부상 가능성이 아주 낮아지지 않는 한(Unless injury was highly unlikely) 위험성이 적절히 통제된다고 볼 수 없을 것임.

- [2006] EWCA Crim 1156 Case No. 2006/01564/B5
R (Appellant) v HTM (Respondent), Court of Appeal Criminal Division
2006년 5월 22일
- (사건 개요) HTM은 A66 간선도로의 일부를 재포장하는 Colas Ltd.에 교통관리서비스를 제공하는 회사임. Cook과 Crimmins는 HTM의 직원이었지만 Colas Ltd.의 일상적인 지시를 받았음. 사고 당일 작업현장에서 Cook은 Colas Ltd.로부터 이동식 조명타워를 옮기라는 지시를 받고 Crimmins와 작업을 수행하였음. 타워를 낮추라는 지시를 받았지만 무시했다가 상부의 2만 볼트의 전력선에 닿아 사망함.
- (기소 개요) HTM은 Health and Safety at Work etc Act 1974 (1974 Act)의 Section 2(1) 위반혐의로 기소됨: 범죄 세부사항은 합리적으로 실행 가능한 한(As far as was reasonably practicable) 모든 직원(Fred Cook 및 John Crimmins 포함)에 대한 안전을 보장하지 못함.
준비청문회(Preparatory hearing)에서 HTM은 지시와 훈련을 통해 Cook과 Crimmins의 안전을 보장하기 위해 모든 합리적인 조치를 취했으며, 사고가 그들 스스로 행동한 결과였으며, 그들이 그런 식으로 행동할 것으로 예상할 수 없었다는 증거를 제시하려고 했음. HSE(R, Appellant)는 예측 가능성은 관련 의무 위반에

영향을 미치지 않으며 HTM은 직원 중 어느 한 사람의 행동이나 불이행을 핑계로 책임을 피할 수 없다고 주장하였음.

- (판결 요지) 항소는 기각됨. HSWA Section 40은 사업주가 합리적으로 실행 가능한 의무를 준수하기 위해 모든 조치를 취했음을 입증할 의무를 부과함. 예측 가능성에 대한 증거는 합리적 실행 가능성의 문제와 잠재적으로 관련이 있으므로 허용되어야 함.

HSWA Section 2(1)의 법적 의무는 합리적인 실행가능성(Reasonable practicability)에 근거하므로 모든 예방조치(Precautions)를 이행하지 않은 HTM의 모든 이유에 대한 고려와 합리적으로 예측할 수 있었는지 감안하기 위하여 그 사고의 상황에 대한 검토가 포함됨.

HSWA Section 2, 3 또는 4에 따른 책임에 대해, 배심원단에 합리적으로 실행 가능한 모든 조치가 이행됐는지 고려할 것을 요청할 때, HTM으로부터 그 위험성의 발생 가능성에 대한 증거가 제출하는 것을 막을 수 없었던 것임.

HTM이 그 사고를 예방하기 위해 합리적으로 조치했어야 할 모든 것을 이행했다고 배심원단을 설득했다면 무죄를 선고받았을 것이기에 HTM이 직원의 과실 혐의에 대한 증거를 제출하도록 허용됨은 옳은 것이었음.

4. 위험성평가 도구의 개발 및 활용 사례

1) 위험성평가 도구

사회와 산업현장에서는 전통적으로 위험성을 평가하는데 정형화된 도구를 사용했다. 대표적으로 체크리스트(Check list), 결함수 분석(Fault Tree Analysis, FTA), 사건수 분석(Event Tree Analysis, ETA), 위험과 운전 분석(Hazard and Operability Analysis, HAZOP), 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo Simulation) 등이 있다.

상당수의 위험성평가 도구는 상당한 수준의 전문성을 요구한다. 위험성평가 도구의 사용 및 적용 관련 전문성과 위험성평가를 수행하는 대상 현업에 대한 전문성도 함께 요구한다. 이러한 이유로 대부분의 위험성평가 과정에서 제대로 된 결과를 얻어내기 위해 현업 전문가의 참여를 거의 필수적으로 요구한다. 더불어 위험성평가는 준비, 자료 수집 및 실행, 결과 정리 등

에 엄청난 시간과 노력을 요구한다. 특히 정량적인 위험성평가 도구를 복잡하고 거대한 시스템에 적용하는 경우는 엄청난 작업이 된다.

일찍이 영국(안전보건청, HSE)에서는 이런 문제점을 해소하고 위험성평가 절차를 쉽게 산업현장에 범용적으로 적용·전파하고자 좀 더 간편하고 덜 번거로운 도구를 개발했다. 업종과 규모에 관계없이 소규모 사업장을 중심으로 산재를 줄이는데 이런 위험성평가 개념과 방법이 널리 적용되기를 기대한 것이었다. 이것이 흔히 우리가 현장에서 사용하는 빈도×강도의 방식으로 위험성의 크기를 정하는 바로 그것이다. 유해·위험요인을 최대한 찾아내고, 이것들로 인한 위험성이 허용될 수 있는지 또는 안전보건조치가 필요한지 결정하기 위하여 도입한 간이식 수단인 것이다. 이 때 빈도는 대체로 단위 시간(기간)당 사고나 질병의 발생 횟수를 적당히 3~5개 정도의 범주로 나누고, 강도는 사망에서부터 부상 또는 질병 이환의 수준으로 적당히 3~5개 정도의 범주로 나눠 숫자(가중치)로 구분한다. 보통 이 두 가지 경우를 곱하는 방식으로 위험성의 크기를 산정하는데, 이는 거의 정성적 위험성평가에 가까운 방식이지만, 그냥 반정량적 위험성평가라 일컫기도 한다.

위험성평가 도입을 위한 연구용역은 고용노동부(공단)에서 2004년~2008년 수행되었으며, 2010년부터 3년 동안 시범사업을 거쳐, 2013년에는 산업안전보건법 제41조의2를 제정하면서 모든 사업장을 대상으로 위험성평가 제도를 시행하게 되었다. 고용노동부와 안전보건공단은 위험성평가 정착을 위해 2012년 9월에 사업장의 위험성평가의 실시 방법 및 절차에 관한 모델을 개발하여 고용노동부고시로 제정하고, 2013년에는 고시에 대한 해설지침서를 마련하였다. 하지만, 위험성평가 제도가 취지와는 달리 실제 현장에서 제대로 수행되지 않고 있어 2018년에는 위험성평가 인식도 조사 및 성과평가를 통해 위험성평가 제도에 관한 개선방안과 실용화 방안(정홍인 외, 2018, 2019) 등의 위탁연구를 통해 위험성평가 활성화를 위한 지속적인 발전방안을 모색하였다.

<표 II-3> 위험성평가 제도 추진경과

도입방안 연구('04~'09년) ⇨ 시범사업('06~'12년) ⇨ 법제화 및 사업수행('13년~)

- ❖ 2004 ~ 2008년: 위험성평가 제도 도입방안에 대한 연구 용역
- ❖ 2006 ~ 2008년: 자율안전종합지원 사업 수행
- ❖ 2009.2.6 : 산업안전보건법 제5조(사업주 등의 의무) 개정
 - 제5조제1항 후단에 위험성평가를 실시하여야 할 법적 근거 마련
- ❖ 2010 ~ 2012년: 위험성평가 본격시행을 위한 시범사업(위험요인 자기관리) 실시
- ❖ 2012.9.26.: 「사업장 위험성평가에 관한 지침」고시 제정 및 이후 6회 개정
 - 2017.7.1.: 상시근로자수 20명 미만(총 공사금액 20억원 미만의 건설공사)은 '위험성추정' 생략 가능
- ❖ 2013. 6.12: 산업안전보건법 제41조의2(위험성평가) 제정
- ❖ 2014. 3.12: 제도의 현장 작동성 강화를 위한 법령 개정
 - 안전보건관리책임자, 관리감독자, 안전관리자, 보건관리자, 안전보건총괄책임자 직무에 반영
- ❖ 2016. 1.27: 신설된 안전보건관리담당자의 직무에 포함
- ❖ 2019.1.15: 산업안전보건법 제36조(위험성평가의 실시) 전부개정(시행 20.1.16)

2) 4M 위험성평가 도구와 KRAS

4M 위험성평가는 공정(작업)내 잠재하고 있는 유해·위험요인을 Man(인적), Machine(기계적), Media(물질·환경적), Management(관리적) 등 4가지 분야로 위험성(리스크)를 파악하여 위험제거 대책을 제시하는 방법을 말한다. 안전보건공단에서 2013년 위험성평가 제도가 도입되기 전에 4M 위험성평가 기법을 주로 사용하여 '유해·위험요인 자기관리' 시범사업(2010~2012)을 시행했었다.

〈표 II-4〉 4M의 항목별 유해·위험요인(예시)

| Machine(기계적) | Media(물질·환경적) |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 기계·설비 구조상의 결함 • 방호장치의 불량 • 위험기계의 본질안전 설계의 부족 • 안전연동장치 및 경고장치의 결함 • 유틸리티(전기, 압축공기 등)의 결함 • 운반수단의 결함 등 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업공간(작업장 상태 및 구조)의 불량 • 가스, 증기, 분진, 흠 및 미스트 발생 • 산소결핍, 유해광선, 고온, 저온, 소음, 진동, 이상기압 등 • 취급 화학물질에 대한 중독 등 |
| Man(인적) | Management(관리적) |
| <ul style="list-style-type: none"> • 근로자 특성에 의한 불안전행동 <ul style="list-style-type: none"> - 여성, 고령자, 외국인, 비정규직, 미숙련자 등 • 작업에 대한 안전보건정보의 부적절 • 작업자세, 동작의 결함 • 작업방법의 부적절 등 • 휴먼에러(Human Error) • 개인보호구 미착용 등 | <ul style="list-style-type: none"> • 관리조직의 결함 • 규정, 지침, 매뉴얼 등 미작성 • 안전관리계획의 미흡 • 교육·훈련의 부족 • 부하에 대한 감독·지도의 결여 • 수칙 및 각종 표지판 미게시 등 • 건강검진 및 사후관리 미흡 |

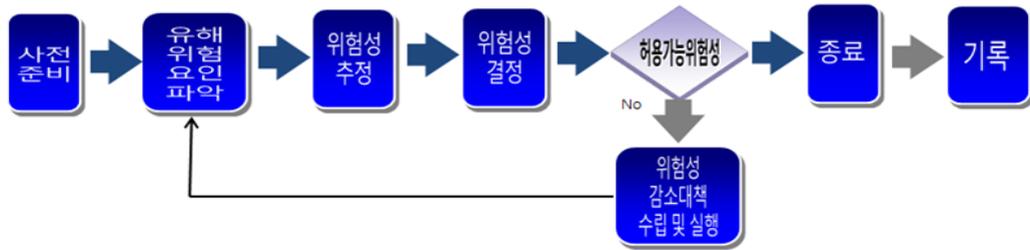
KRAS²⁷⁾ 방법으로 불리어지고 있는 ‘5-단계 위험성평가(5-Step Risk assessment)’는 2006년에 안전보건공단의 위탁연구²⁸⁾를 통해 영국, 호주 등 국외에서 사용되고 있는 위험성평가 기법의 분석을 통해 국내 중·소규모 사업장에서 활용할 수 있는 위험성평가 모델을 개발하기 시작하였다. 영국의 5-Step Risk assessment tool을 기초로 하여 국내에 적용 가능한 위험성평가 기법과 절차를 〈그림 II-1〉과 같이 제시하였고, 위험요인은 크게 물리적인자, 작업환경인자, 화학적인자, 인적인자 등으로 구분하였다.

이후, 사업장 위험성평가에 관한 지침이 고시로 제정(2012.9.26.)되어

27) KRAS(Korea Risk Assessment System): 사업주가 위험성평가 실시를 위하여 스스로 사업장의 유해위험요인에 대한 실태를 파악하고, 이를 평가하여 관리·개선하는 등 필요한 안전보건정보를 수집할 수 있도록 필수적인 콘텐츠를 제공하는 인터넷 기반의 지원시스템

28) 최재욱·이영순 외, 사업장 유해위험성 평가기법 개발 및 국내 적용방안 연구. 2006

위험성평가의 정의와 절차의 기준에 따라 사업장에서 쉽게 위험성평가를 실시할 수 있도록 ‘5-단계 위험성평가(5-Step Risk assessment)’ 방법을 만들어 위험성평가 지원시스템(KRAS)를 통해 사업장에 제공하고 있다.



[그림 II-1] 국내 위험성평가의 절차 기준

아울러, 5-단계 위험성평가의 유해·위험요인은 <표 II-5>와 같이 6개(기계(설비), 전기적, 화학(물질)적, 생물학적, 작업특성, 작업환경) 요인으로 분류하고 있다.

<표 II-5> 유해·위험요인 파악 내용

| 번호 | 구분 | 유해위험요인 파악 | | |
|----|------------|----------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 기계(설비)적 요인 | 1.1 끼임(감김) | 1.2 위험한 표면 (절단, 베임, 굽힘) | 1.3 기계(설비)의 낙하, 비래, 전복, 붕괴, 전도 위험부분 |
| | | 1.4 충돌위험 부분 | 1.5 넘어짐 (미끄러짐, 걸림, 헛디딤) | 1.6 추락위험 부분 (개구부 등) |
| 2 | 전기적 요인 | 2.1 감전(안전전압초과) | 2.2 아크 | 2.3 정전기 |
| | | 2.4 화재/폭발 위험 | | |
| 3 | 화학(물질)적 요인 | 3.1 가스 | 3.2 증기 | 3.3 에어로졸·흙 |
| | | 3.4 액체·미스트 | 3.5 고체(분진) | 3.6 반응성 물질 |
| | | 3.7 방사선 | 3.8 화재 / 폭발 위험 | 3.9 복사열 / 폭발과압 |

| 번호 | 구분 | 유해위험요인 파악 | | |
|----|---------|--------------------------|-------------------|---------------|
| 4 | 생물학적 요인 | 4.1 병원성 미생물, 바이러스에 의한 감염 | 4.2 유전자 변형물질(GMO) | 4.3 알러지 및 미생물 |
| | | 4.4 동물 | 4.5 식물 | |
| 5 | 작업특성 요인 | 5.1 소음 | 5.2 초음파·초저주파음 | 5.3 진동 |
| | | 5.4 근로자 실수(휴먼에러) | 5.5 저압 또는 고압상태 | 5.6 질식위험·산소결핍 |
| | | 5.7 중량물 취급작업 | 5.8 반복작업 | 5.9 불안정한 작업자세 |
| | | 5.10 작업(조작)도구 | 5.11 기후/고온/한랭 | |
| 6 | 작업환경 요인 | 6.1 기후 / 고온 / 한랭 | 6.2 조명 | 6.3 공간 및 이동통로 |
| | | 6.4 주변 근로자 | 6.5 작업시간 | 6.6 조직 안전문화 |
| | | 6.7 화상 | 6.8 작업(조작) 도구 | |

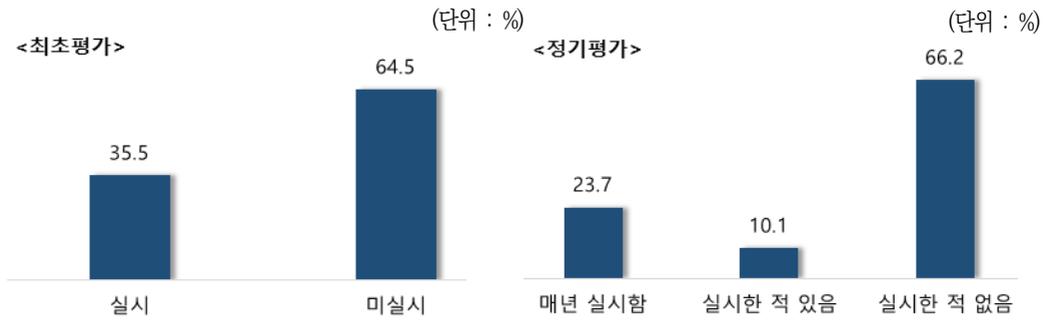
위험성평가는 사업주의 주체적 재해예방활동으로서 2013년에 제도로 도입된 이후, 고용노동부(안전보건공단)의 다양한 지원책²⁹⁾에도 불구하고 사업주의 위험성평가 실시 이행은 저조한 실정이다. 2017년에 고용노동부는 위험성평가의 활성화를 위해 소규모 사업장 등에서 부담 없이 위험성평가를 직접 실시할 수 있도록 상시근로자수 20명 미만(총 공사금액 20억원 미만의 건설공사)은 ‘위험성 추정’ 생략이 가능하도록 고시도 개정하였으나 2019년 작업환경실태조사 결과³⁰⁾에 따르면, 위험성평가 실시 시기별로 최초평가는 35.5%, 매년 정기평가는 23.7%만 실시된 것으로 조사되었다.

29) 컨설팅 지원, 우수사업장 감독 유예 및 정부 포상, 산재보험료 할인 등

30) 안전보건공단, 2019년 전국 작업환경실태조사 보고서, p. 190.

〈표 II-6〉 2019년 사업장 위험성평가 실시 현황

| 구분 | 조사대상 | 최초평가 | | 정기평가 | | |
|-------|---------|--------|--------|--------|----------|----------|
| | | 실시 | 미실시 | 매년 실시함 | 실시한 적 있음 | 실시한 적 없음 |
| 사업장 수 | 143,716 | 51,051 | 92,665 | 34,099 | 14,486 | 95,131 |
| 비율 | 100.0% | 35.5 | 64.5 | 23.7 | 10.1 | 66.2 |

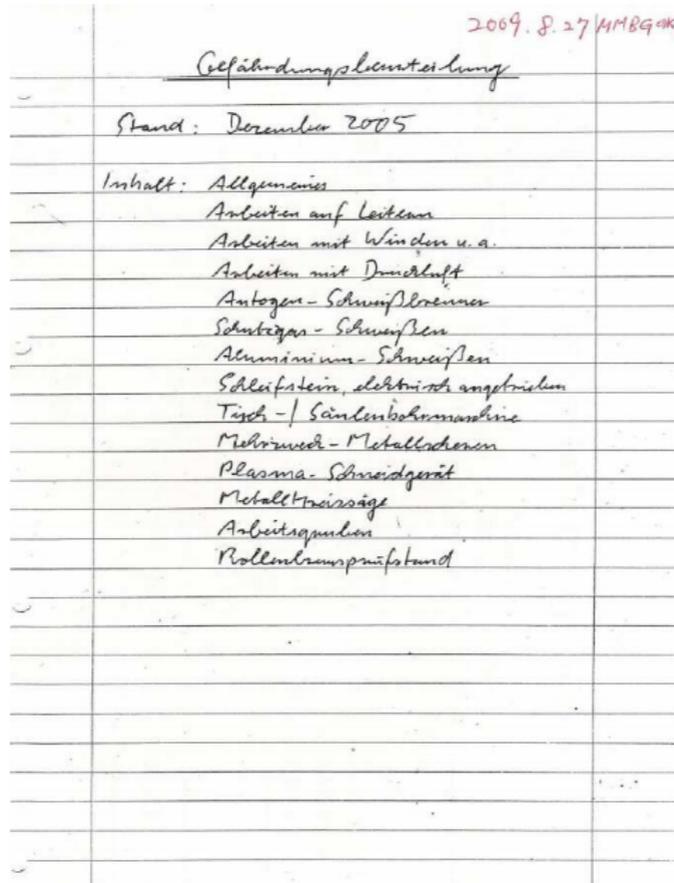


사업장은 여전히 위험성평가 실시를 힘들어 하는 것으로 보인다. 2021년 연구³¹⁾에서 위험성평가 규제 수준 적절성 설문 결과 중, “위험성평가 절차의 단계 내용이 너무 어렵다”라는 의견을 보인 기업 중 29%가 ‘위험성 추정’이 어렵다는 의견으로 조사되었다.

3) 선행연구 중 위험성평가 비교사례

박두용 등(2009년)은 위험성평가의 본질과 관련하여 두 가지 극단적인 사례를 제시하여 비교하였다. 하나는 연구진이 독일 기계금속산재조합(MMMB) 방문 시 조합전문가가 위험성평가 본래의 취지에 맞는 모범사례(Sample)라면서 보여 준 것으로 직접 수기한 1쪽짜리이지만 사업주와 작업자가 함께 논의하여 작성한 것인데, 위험성평가 제도의 도입에 따라 사업장의 대응방식과 반응이 바뀌고 있음을 알려주는 것이라고 하였다.

31) 강철상 등, 위험성평가 성과평가 및 발전 방안 연구. 안전보건공단, 2021



[그림 II-2] 독일, 사업장이 실시한 위험성평가 사례(2009년 추정)

다른 하나는 우리나라 모 사업장의 위험성평가 결과보고서인데, 외부 전문기관에 의뢰하여 전문가들이 실시한 결과물이었다. 보고서 양의 엄청난 (350여쪽)과는 달리 정작 사업주, 공장 부서장, 작업반장, 근로자들은 그 내용을 잘 알지 못했고 관심도 없었다고 기술하였다. 현장의 근로자들은 대부분 위험성평가를 실시했는지도 몰랐으며 위험성평가가 무엇인지조차도 모르더라고 기술하였다.³²⁾

32) pp. 249~253



**[그림 II-3] 우리나라, 사업장이 외부 전문기관에 위탁하여 실시한
위험성평가 결과보고서**

4) 범죄예측 위험성평가 도구

산업현장에서 위험성평가에 사용하는 도구 중에 체크리스트를 제외한 대부분의 도구는 상당한 수준의 기술적 전문성을 필요로 하면서 의외로 상당한 시간과 노력을 요구한다. 사실상 이러한 도구(기법)를 능숙하게 다룰 수 있는, 경험을 쌓은 일부 전문가 외에 그 사용 이유와 적용 과정을 현장 작업자들이 쉽게 직관적으로 이해하기는 힘들다. 그러므로 위험성평가에 사업주와 노동자들의 참여를 요구하고 있다하더라도 능동적인 참여는 어려울 수밖에 없는 환경에 놓여 있다.

여러 국가에서 의무적 또는 권장사항으로 이미 적용되는 범죄재발(또는 범죄예측) 위험성평가 도구는 의외로 간단한 형태로 구성돼 있다. 체크리스트 형태에 아주 유사하다. 평가 결과의 산출방식이 다를 뿐이다. 물론 그 평가 도구를 구성하는 요소는 장기간의 수많은 연구를 통해 축적된 노력의 결과물이고, 지금도 계속 개발되는 과정에 있다. 이 평가 도구를 적용하기 위해서는 아주 수준 높은 전문가 영역을 필요로 하는 도구도 있고, 간단한 교육훈련을 통해 평가자가 될 수 있는 도구도 있다.

이러한 범죄예측 위험성평가 도구의 형태를 간략히 살펴보고, 이 연구에서 개발하는 체크리스트의 형태와 내용 수준이 전문가 아닌 사업주 및 해당 공정 작업자들도 쉽게 직관적으로 이해할 수 있도록 구성하는 방안을 찾고, 또한, 이 연구에서 제안하는 체크리스트의 향후 발전방향에도 참고하고자 한다. 물론 산업현장에서 유효하게 쓰일 수 있는 위험성평가 도구의 개발에는 향후 오랜 시간과 많은 노력이 필요하게 될 수밖에 없다. 하지만, 최종 결과물 자체(위험성평가 도구)는 사업주와 관리감독자, 작업자들에게 위험성평가 자체가 어려운 작업이 아니라는 인식 개선과 함께 엄청난 서류작업도 요구하지 않는다는 것을 보여줌으로써 이들의 능동적 참여를 얻어낼 수 있는 환경부터 조성하는 것이 중요하다고 생각한다.

이법호 등(2006년)에 따르면, 범죄예측에 대한 연구는 1923년 미국의 워너 교수에 의해 시작되었다. 매사추세츠 교도소 수형자에 대해 가석방 전 기록에서 60여개의 항목을 조사한 후 점수를 매기는 방식으로 가석방 성공자와 실패자를 구별하였다. 미국학자들의 이러한 연구로 인해 1930년대 독일, 1950년대에는 영국이 관련 연구를 통해 범죄예측³³⁾ 위험성평가 도구를 개발하기 시작했다. 범죄의 위험성을 평가하고 재범을 예측하는 작업은 전체적 예측법(위험성평가)과 통계적 예측법(위험성평가)으로 대별된다. 전체적 예측법은 대상자의 인격상태와 환경조건, 성장환경 등을 분석하여 종

33) 이법호 등(2006년)에 따르면, 범죄예측(Prediction of crime)이란 범죄자나 범죄위험자에 대한 범죄예방, 수사, 재판, 교정, 보호관찰 등의 각 단계에서 개개인의 범죄, 재범위험도가 어느 정도인지 측정하고 판단하는 것을 말한다. 효율적인 범죄예측을 위해서는 적어도 임상척도(걱정, 불안증, 우울증 등을 가려내 일상생활상 적응성을 판별), 일탈행동척도(반사회성, 집단 동조성, 모방성, 충동성, 주의력 정도 등의 검사를 통해 사회생활에서 일탈 가능성을 예측), 일반척도(책임성, 성실성, 사회성, 자아존중성 등을 파악), 타당성척도 등이 포함되어야 한다고 주장한다. pp. 33~35.; 범죄예측에서 우수성을 보이는 변인에 생활사변인, 임상자료, 위험변인의 3가지 부류가 있는데, 생활사변인은 배경요인으로 이들에 대한 자료 수집은 특수한 훈련을 받은 전문가들이 수행하여야 하며, 임상자료는 임상면접을 통해 얻어진 자료이며, 위험변인은 석방의 타당성, 피해자에 대한 접근성, 사회적 지지구조, 처방약 복용, 의사나 상담자의 지시이행의 성실성 등을 통칭하는데 이 변인들의 유용성이 점차 크게 인식되고 있다. pp. 42~43.

합하고 논리적으로 판단한다. 임상적(정신의학적) 예측법이라고도 한다. 전문가의 관찰과 판단에 주로 의존한다. 전문성 관련 요구 정도가 크다보니 실무적으로 정확한 평가가 어렵고 여러 사실들이 복합적으로 존재하면 어떻게 평가할지 판단이 어려워지며, 평가자의 주관이 개입되어 객관성이 결여될 우려가 높아진다. 통계적 예측법은 통계적 조사연구의 결과와 사례에 관한 조사경험에서 빈도가 높거나 범죠타인으로 간주되는 요인을 중심으로 점수화한다. 따라서 평가자의 주관적 개입 우려가 낮아지고 실무나 임상경험이 없는 평가자도 이 방법을 쉽게 적용함으로써 객관성과 타당성이 상대적으로 높아진다. 최근의 범죠타어측은 경험과학의 입장에서 보통 통계적 예측법인 점수법을 의미하게 되었다.³⁴⁾

Desmarais 등(2013년)이 미국에서 재범 위험성이 높은 범죠타어를 식별하는데 활용하고자 교정기관을 중심으로 사용하는 구조화된 위험성평가 도구(Tool) 53건에 대해 그 성능을 조사하고 요약한 연구 결과³⁵⁾에 따르면, 위험성평가는 더 높은 위험에 처해 있고 당국의 개입이 필요한 사람들을 식별하기 위해 미래 범죠타 가능성을 추정하는 과정으로 정의된다. 이러한 위험성평가 도구는 구조화되지는 않았지만 수십년간 범죠타 기록 등을 바탕으로 특정 전문가들에 의해 수행된 평가(1세대³⁶⁾), 1970년대 구조화된 형태로 개발되기 시작하여 크게 발전한 SFS·VRAG³⁷⁾ 등의 도구를 활용한 평가(2

34) 이법호 등(2006년), 성인보호관찰대상자에 대한 분류평가도구 개발에 관한 연구, pp 36~39, p. 57.

35) Sarah Desmarais, Jay Singh. Risk Assessment Instruments Validated and Implemented in Correctional Settings in the United States. 2013.: 1970년에서 2012년 사이 피어리뷰된 저널에 발표된 선행연구, 정부보고서, 학위논문을 검색하여 53개를 최종 선별하였다.

36) 이수정 등(2010년)에 따르면, 제1세대의 기술은 임상적 직관력과 전문가적 판단력에 의존하여 평가하던 시기로 사실상 형사정책적 의사결정을 위하여 오늘날에도 사용되는 가장 일반적인 방법이기도 하나 평가의 주관성, 객관적 증거 제시기능이 없다는 점, 전문가들에 따라 서로 다른 의사결정이 산출될 수 있다는 문제점을 거론하였다. p. 24.

37) SFS(Salient Factor Score)74, SFS76, SFS81, SFS98, VRAG(Violent Risk Appraisal Guide)

세대³⁸⁾, 2세대 도구가 주로 사용하는 성별·연령별 범죄 횡수기록 등의 정적요인(Static factors)³⁹⁾ 외에 태도, 약물 사용 등과 같은 동적요인(Dynamic factors) 등을 포함하는 도구⁴⁰⁾의 개발(3세대), 위험성평가를 넘어 치료 및 감독 강화에 중점을 둔 도구⁴¹⁾의 개발(4세대)에 이를 정도로

- 38) 이민식 등(2009년)에 따르면, 제2세대는 20세기 초반부터 1979년까지의 위험성평가 도구를 의미하며, 초반에는 임상적 평가 도구들이 주류를 이루었으나 1970년대에는 계량적 위험성평가 도구들이 개발되었다고 파악하였다. 이러한 평가 도구들은 정적예측변수(Static predictor variables)만을 반영하여 수용자의 위험성이 변화할 수 있는 측면을 반영하지 못해 재범률을 예측하는 도구로는 한계점이 있다고 파악하였다. p. 161.
- 39) 이민식 등(2009년)에 따르면, 초기의 여러 문헌에서는 위험성평가 요인을 크게 정적요인과 동적요인으로 대별했는데, 정적요인은 성별, 나이, 범죄경력과 같이 시간의 흐름과 관계없이 변하지 않거나 한 방향으로만 변화하는 요인들이며, 동적요인은 태도, 지향, 약물남용, 동료관계, 고용 등과 같이 시간의 흐름에 따라 변화 가능한 요인들이다. 1980년대 후반 이후 문헌에서는 동적요인이라는 용어가 수용자의 욕구(Need)요인으로 대체되며, 욕구요인은 다시 범죄유발욕구(Criminogenic needs), 일반욕구(Non-Criminogenic needs)로 나뉘어 평가되고 있다. 범죄유발욕구는 역동적으로 변화 가능한 요인들로 재범률에 직접 영향을 미치며, 일반욕구, 즉 가난, 건강상태 등은 변화 가능하지만 재범률에 반드시 영향을 미치지 않는 요인들이다. 최근 널리 사용되는 위험성평가 도구들은 위험성요인, 범죄유발욕구, 일반욕구를 평가하는 항목들로 구성돼 있다. pp. 160.
- 40) S. Desmarais 등(2013년)에 따르면, 3세대 도구에는 LSI-R(Level of Service Inventory-Revised), LSI-R:SV(Level of Service Inventory-Revised: Screening Version), SAQ(Self-Appraisal Questionnaire), HCR-20(Historical-Clinical-Risk Management-20), IORNS(Inventory of Offender Risk, Needs, and Strengths) 등이 있다.: 이민식 등(2009년)에 따르면, 제3세대에는 평가자의 자의적 판단을 배제하기 위한 노력의 일환으로 객관화된 분류시스템이 도입되었다. 90년대 초반까지 PCR(Psychopathy Checklist-Revised)가 가장 유용한 도구로 여겨졌으나 90년대 중반이후부터 LSI-R(LSI의 발전된 버전으로 1995년 완성)이 더 타당한 평가 도구임이 여러 경험적 연구들을 통해 입증돼, 미국의 900여개소 이상의 교정시설에서 분류심사 도구로 채택되고 있다.
- 41) S. Desmarais 등(2013년)에 따르면, 4세대 도구에는 COMPAS(Correctional Offender Management Profiling for Alternative Sanctions), ORAS(Ohio Risk Assessment System), WRN(Wisconsin Risk and Needs tool), WRN-R(WRN, Revised version), PCRA(Federal Post Conviction Risk Assessment), SPIn(Service Planning Instrument), SPIn-W(SPIn의 여성 범죄자용), STRONG(Static Risk and Offender Needs Guide) 등이 있다.: 이민식 등(2009년)에 따르면, 제4세대 도구는 현재 개발 중에 있는 단계이며 개념적으로는 제3세대 도구가 지나치게 객관화된 단점을 극복하고자 구조화된 전문가의 판단을 도입하여 수용자 개개

발전하고 있다. HCR-20⁴²⁾과 VRAG는 특히 미래의 폭력 위험성평가 도구⁴³⁾이지만 (비폭력)재범 위험성을 평가하는 데에도 자주 쓰인다. 평가 도구의 항목(Items)과 콘텐츠 영역(Content Domains)으로 범죄자의 특성(Characteristics) 요소에는 신체적 건강·정신적 건강·태도 등이 포함되고, 신체적·사회적 환경(Environment) 요소로는 이웃·가족·동료 등이, 상황(Circumstances) 요소에 생활 상황, 고용 상태 등이 포함된다. 대부분의 재범 위험성평가 도구들은 생물학적(Biological), 심리적(Psychological), 그리고 사교적(Social) 특성 요소에 중점을 두며 서비스(Service), 체계(System) 및 사회적(Societal) 변수와 같은 거시적인 요소들은 재범 위험성 평가에 거의 반영되지 않는다.⁴⁴⁾ 연구자들은 평가 도구별 성능 연구에 대해 ㉠평가 도구 상호 간에 더 정확한 평가결과를 도출하는 것은 없으며, ㉡평가 시 사용 표본·상황 등에 따라 도구 간 성능은 크게 달라진다는 등의 결론을 내고 있다.

공통적 위험성평가 도구로는 SIR⁴⁵⁾, OASys⁴⁶⁾, LS/CMI⁴⁷⁾ 등이 개발되었고, 폭력범죄에 대한 재범위험성 도구로는 HCR-20⁴⁸⁾, VRAG⁴⁹⁾,

인의 위험성과 욕구의 차이를 반영하고자 노력 중이다. pp. 161~162.

42) Historical-Clinical-Risk Management-20: HCR-20은 미국 외 지역에서 널리 검증(validated)되었다.

43) Violence Risk Assessment Instrument, 한편 VRAG도 HCR-20과 함께 미국 외 지역에서 수행된 여러 연구를 통해 평가의 타당성이 검증되었다. Quinsey 등(1998년)에 따르면 VRAG는 최초 개발된 이후 평균 7년간의 추적조사를 통해 폭력재범과 유의미하게 관련된 변수들을 선택하여 구성되었다.

44) S. Desmarais 등(2013년)에 따르면, 선행연구결과로 Andrews, Bonta 및 Wormith(2006년)는 재범에 대한 가장 강력한(Powerful) 위험성 요소(Risk factors)로 1. History of antisocial behavior, 2. Antisocial personality pattern, 3. Antisocial cognition, 4. Antisocial associates, 5. Family and/or marital problems, 6. School and/or work problems, 7. Leisure and/or recreation problems, 8. Substance abuse 등을 제시하였다고 밝히고 있다.

45) Statistical Information on Recidivism

46) Offender Assessment System

47) Level of Service/Case Management Inventory

48) Historical Clinical Risk Management-20

49) Violence Risk Appraisal Guide

PCL-R⁵⁰⁾ 등이 있으며, 성폭력범죄에 특화된 도구에는 Static-99⁵¹⁾, Static-2002⁵²⁾, Risk Matrix 2000, RRASOR⁵³⁾, SORAG⁵⁴⁾, KSORA S⁵⁵⁾ 등이 있으며, 가정폭력범죄에 대한 위험성평가 도구에는 SARA⁵⁶⁾, DAS⁵⁷⁾, ODARA⁵⁸⁾ 등이 개발돼 사용되고 있다.

(1) 우리나라

이법호 등(2006년)은 우리나라의 경우 1962년 권순영 판사가 소년 51명에 대해 범죄예측표를 적용시켜 본 것이 범죄위험성평가의 첫 시도라고 파악하였다. 이후 1964년 김기두 교수는 소년교도소에 재소 중인 범죄소년 88명, 비범죄소년 100명을 비교연구하여 조기범죄예측표와 진성불량소년 식별표를 작성하였다.⁵⁹⁾

우리나라는 성범죄의 재범 가능성이 높은 경우 구금 이외에 신상공개와 전자발찌를 일종의 보안처분으로 추가하는데, 보안처분 대상자에 대해서는 재범 가능성에 대한 파악을 의무화하고, 법무부는 2008년 성범죄자들 재범 가능성 평가 도구로 한국성폭력범죄자위험성평가척도(Korean Sex Offender Risk Assessment Scale, KSORAS)를 개발하여 사용하고 있다.⁶⁰⁾

50) Psychopathy Checklist-Revised

51) Static-99는 RRASOR과 SACJ를 보충하여 개발한 도구

52) Static-2002는 Static-99를 새로이 구성한 도구

53) Rapid Risk Assessment for Sex Offense Recidivism

54) Sex Offender Risk Appraisal Guide

55) Korean Sex Offender Risk Assessment Scale

56) Spousal Assault Risk Appraisal Guide

57) Danger Assessment Scale

58) The Ontario Domestic Assault Risk Assessment

59) 서울지방법원 소년부 권순영 판사는 신진규 박사가 연구한 글룩 부부(Glueck, S. & E. T. Glueck)의 조기비행예측표를 토대로 법원에 계류 중인 소년 51명에 대해 범죄예측표를 적용시켰다. p. 79.

60) 이수정 등(2010년)에 따르면 성폭력사범에 대한 전자감시청구전조사에서는 국내 연구진이 개발한 KSORAS와 PCL-R의 한국어번역본(조은경·이수정 역, 2008)을 사용한다.

KSORAS⁶¹⁾는 만18세 이상의 남성 성범죄자만을 대상으로 사용된다. 총 15개의 항목으로 구성돼 있고, 각 항목은 피조사자의 연령, 성범죄 유형, 과거 범죄력, 본 범행 양상 등이 포함된다.⁶²⁾

이민식 등(2009년)에 따르면, 우리나라의 분류심사 도구는 수용자의 위험성여부를 직접 평가하지 않고, 수용자의 개선 가능성의 정도를 평가하여 긍정적인 측면에 점수를 주는 방식으로 높은 점수를 받을수록 개선 가능성이 큰(상대적으로 위험성이 낮은) 수용자로 분류한다.⁶³⁾

이민식 등(2009년)은 LSI-R 평가 도구의 적용성 관련 결론에서 ①LSI-R은 우리나라 수용자의 위험성을 상대적으로 낮게 평가하는 경향, ②음주와 약물에 대한 평가는 우리 실정에 맞지 않음, ③교육·직업변수는 직업유무, 일의 연속성보다 어떤 직종에 종사하는지가 더 중요, ④연구 방법론상 위험도가 다른 수용자 집단별 위험성 점수의 차별성 확인보다 점수와 재범률과의 상관관계를 확인하는 쪽이 더 타당하다는 결론을 제시하였다.⁶⁴⁾

(2) 외국

이수정 등(2010년)에 따르면, 미국은 양형단계에서 범죄 위험성평가를 광범위하게 활용하는데, 판결을 위하여 민간전문가들에게 의뢰한 판결전조사를 실시하고, 판결 이후에도 죄질의 개선여부에 따라 형량의 변경도 가능하여 교정시설 내 재범위험성평가는 매우 중요한 업무가 되고 있다.⁶⁵⁾ 영

61) Korean Sex Offender Risk Assessment Scale: 법무부 2008

62) 정진수 등(2011년), 재범방지를 위한 범죄자처우의 과학화에 관한 연구(II), 한국형사정책연구원, p. 38.

63) 이민식 등(2009년), LSI-R을 이용한 성별·범죄유형별 재범유발요인, 형사정책연구, 2009. p. 163.

64) 이민식 등(2009년)에 따르면, ①의 경우 선행연구에서 Andrews 등(2001년)이 제시한 위험군 분류기준표의 점수(Cut-off score)를 조정할 필요가 있고, ②우리나라의 범죄자들은 약물남용 상관성은 적고 음주와 범죄의 상관성이 높게 나타나므로 약물남용 평가 문항은 축소할 필요 있으며, ③성별에 따른 직업군의 차이와 범행 가능성의 관계에 대한 고려가 필수적이라 주장하였다.

65) pp. 66~67.

국은 성범죄자들에 대해서도 일단 전체 범죄자들에게 모두 적용하는 OASys를 판결전조사단계, 교정단계, 보호관찰단계 모두에 사용한다. 특히 성범죄자들에 대해 기존 OASys, RRASOR⁶⁶⁾외에 SACJ를 개발했는데, 이는 위험성평가에 3개의 단계를 거친다. 영국의 형사사법 현장에서 사용되는 RRASOR, SACJ-MIN 은 모두 좋은 예측력을 지녔다고 확인된다.⁶⁷⁾ 독일법원은 연반형법에 근거하여 양형 결정 전 재범을 막기 위하여 위험성평가를 통해 치료감호 대상인지, 고위험군 분류 대상인지 판단을 내린다. 독일은 여전히 주로 임상심리학자나 정신과의사 등에 감정촉탁하여 비구조화된 임상적 판단을 근거로 처분을 내리다가 1990년대 후반부터 PCL-R, HCR-20 등을 번역하여 사용하기 시작하였다.⁶⁸⁾

캐나다 교정국에서 사용하는 SIR의 경우 평가 항목은 15개이며, 본 범행의 내용, 초범 연령, 과거 수용경력, 과거 가석방 유무, 탈옥 전력, 위험수 분류 경험, 최초 기소 연령, 폭행 전력, 혼인상태, 직전 범행시기, 부양가족수, 총 형기, 과거 성폭행 유무, 과거 가택침입 유무, 체포 당시 고용상태 등으로 구성된다.⁶⁹⁾

이수정 등(2010년)은 영국 법정에서는 모든 범죄자들을 대상으로 평가하

66) RRASOR(Rapid Risk Assessment for Sex Offense Recidivism)

67) SACJ(Structured Anchored Clinical Judgement)는 1단계: 초기의 보험계리적 접근법에 근거한 위험성 선별작업, 2단계: 공격적인 요인들에 대한 깊이 있는 분석(PCL-R 활용), 3단계: 긴 시간 동안 성범죄자의 행동에 대한 주의 깊은 관찰을 통해 위험요인에 대한 치료효과가 발생하였는지 평가의 3개의 단계를 거친다. 이 중 1단계는 5가지의 평가항목(현재 및 과거의 성범죄 전과기록, 성범죄 외 전과기록, 현재 비성범죄 폭력범죄, 4개 또는 그 이상의 전과기록) 중 4가지 이상에 해당하면 고위험군, 2~4가지 미만에 해당하면 중위험군, 2가지 미만이면 저위험군으로 분류된다. 사실상 교도소에 수감되기 전에는 여러 가지 역동적인 요인들에 대한 평가가 쉽지 않다. 따라서 수사단계에서는 성범죄자의 교도소 수감 이전의 위험성평가를 위하여 1단계만의 평가도구를 지칭하는 SACJ-MIN이라는 간략도구를 사용한다. 이는 영국 경찰이 지역 사회에서 신상등록을 해야 하는 성범죄자를 평가하는 도구이다.(이수정 등, 2010년, pp. 69~70.)

68) pp. 72~73.

69) 정진수 등(2011년), 재범방지를 위한 범죄자처우의 과학화에 관한 연구(II), 한국형사정책연구원, p. 32.

는 판결전조사서(Pre-sentence report)를 10여년 전부터⁷⁰⁾ 요구하는 등 형사절차의 모든 단계에서 사용하는 추세이다. 반면 우리나라는 특정 요인을 한정적으로 평가하는데 그칠 뿐이라고 파악하고 있다.⁷¹⁾

영국 법정에서 모든 범죄자들을 대상으로 요구되는 OASys의 경우 평가 항목은 범행 정보, 주거상태, 교육·훈련·취업가능성, 재정관리·소득상태, 인간관계, 생활유형, 약물남용, 알코올남용, 정서적 안녕, 사고와 행동, 태도 등 12개 영역이며 각 영역은 하위의 세부 항목을 통해 평가된다.⁷²⁾

(3) 평가 도구에 대한 고찰

〈표 II-7〉에서 여러 국가에서 대표적으로 실무에 적용되는 범죄예측 위험성평가 도구들을 비교하였다. KSORAS는 우리나라 법무부에서 위탁용역으로 개발하였다. 18세 이상의 남성 성범죄자만을 평가 대상으로 한다. HCR-20 Ver.3은 세계적으로 널리 활용되고, 검증된 범용 폭력범죄자용 위험성평가 도구이다. 미래의 폭력 위험성평가를 위해 개발됐지만 비폭력의 재범 위험성평가에도 활용된다. OASys는 영국에서 개발됐고, 현존하는 평가 도구 중 가장 많은 동적요인을 포함하고 있다. 영국 법정에서 모든 범죄자에게 적용된다. SIR은 캐나다에서 개발됐고, OASys와 달리 정적요인으로만 구성된 평가 도구이다. 미국에서 개발돼 널리 사용되는 LSI-R은 무려 54개 평가 항목의 점수를 합산한다.

이러한 평가 도구들은 미국에서부터 시작하여 여러 국가에서 오랜 기간의 연구와 현실 적용을 통해 개발되고 발전되었다. 만족할 만한 수준에 도달한 평가 도구는 법적으로 적용이 의무화되기도 하였다. 여러 국가들에서는 사용을 권장한다. 법정에서의 판결과 재범의 예측에 기여하고 있다. 이

70) 2010년 연구보고서 발표 기준 시점에서부터 기산

71) 이수정 등, 위험성평가도구 개발에 관한 연구, 한국형사정책연구원, 2010. pp. 21~23.

72) 정진수 등(2011년), 재범방지를 위한 범죄자처우의 과학화에 관한 연구(II), 한국형사정책연구원, p. 32, p. 75.

법호 등(2006년)은 범죄예측 위험성평가 관련하여 실무에서 활용 가능한 위험성평가 도구(예측표)는 간편해야 하고, 주기적 보정도 필요함을 주장하였다.⁷³⁾ 이는 아주 중요한 내용을 나타내고 있다.

실무에서 활용될 도구가 아주 수준 높은 전문가만이 활용할 수 있는 정도로 어렵다면 이는 큰 문제점이 될 수 있다. 산업현장용으로 이미 개발된 위험성평가 도구는 체크리스트 정도를 제외하면 누구나 쉽게 능숙하게 다룰 정도로 편한 도구는 아니다. 범죄예측용 평가 도구들은 대체로 체크리스트의 형태를 갖추고 있고, 평가내용 자체는 어렵고 사용이 힘들만큼 복잡한 것들은 아니다. 물론 별도의 교육과정 또는 전문성을 요구하는 것은 별도로 하고 그렇다는 것이다. 우리가 산업현장의 사고를 예방하기 위해 활용할 위험성평가표가 반드시 복잡하고 심오한 기술적 평가표를 요구한다고 생각할 필요는 없다고 본다. 평가 도구를 만들기까지의 과정은 많은 노력과 시간을 들이더라도 실무에서 활용될 도구는 간편하고 쉬워야 한다. 가급적 누가 활용하더라도 그 결과까지 비슷하다면 더욱 좋을 것이다.

범죄예측 평가 도구들은 용도에 따라 엄청나게 많은 다양한 형태가 개발되었고 지금도 연구되고 있다. 간단히 보더라도 범용, 폭력범죄, 비폭력범죄, 성범죄, 남성용, 남녀공용, 18세 이상 대상한정 등으로 제한 조건이 걸려있다. 다만, 공통적인 대상은 일단 이 평가 도구들은 범죄자들을 대상으로 한다는 정도이다. 이 연구에서는 3종의 체크리스트를 제안하지만, 향후 산업현장의 위험성평가용 체크리스트는 많은 종류와 숫자로 개발될 수도 있을 것이다. 평가 결과를 유효하게 할 수만 있다면 그 종류는 많을수록 좋을 것이다.

범죄예측 평가 도구, 산업현장에서 사용되는 이미 개발된 위험성평가 도구(HAZOP, ETA 등) 모두 당연히 이미 우리가 파악할 수 있는 자료에 바

73) 실무에서 활용 가능한 예측표는 사용이 간편해야 하고, 항목도 매우 적으며, 일목요연하고 복합적이지 않으며, 추상적 표현이 적고 구체적인 특징을 갖추어야 한다고 주장하였다. 또한, 예측표가 지니는 각 항목별 가중치를 그 변별력의 정확도에 비추어 주기적으로 보정할 필요도 절실하다고 주장하였다.

탕을 두고 평가한다. 우리가 알지 못하는 자료는 평가에 활용 될 수 없다. 현재 산업현장에서 활용되는 위험성평가 도구들은 대체로 아주 기술적인 자료만을 기반으로 하지만, 범죄예측 평가 도구들은 그간의 다양한 연구를 통해 평가 결과에 영향을 미치는 요인(요소, 변수)들을 광범위하게 선별하고 수집하려는 노력을 보이고 있다. 따라서 이 연구에서 제안하는 체크리스트는 여전히 기술적인 측면에 중심을 둔 도구(분석의 기초가 되는 사고조사 결과 자료가 대체로 기술적인 사항에 국한되고 있음)가 되겠지만, 향후 지속적인 연구를 통해 기술적 항목 외에 우리가 인식하지 못했던 다양한 사고 영향 요인들까지도 사고조사단계에서 발굴하여 위험성평가용 체크리스트를 개발하는데 소용될 수 있기를 기대해 본다.

〈표 II-7〉 범죄예측 위험성평가 도구의 평가항목 비교

| 구분 | KSORAS_한국 | HCR-20 Ver.3_미국 | OASys_영국 | SIR_캐나다 | LSI-R_미국 |
|-------------------|--|---|--|--|---|
| 개요 | <ul style="list-style-type: none"> • 법무부 개발(2008년) • 만18세 이상 남성 성범죄자만을 대상으로 사용하며, 15개 항목 | <ul style="list-style-type: none"> • 범용 폭력 도구 • 과거력 척도 10개 항목은 정적요인, 임상력 5개 척도는 현재 동적요인, 위험관리 5개 척도는 미래 역동적 상황요인 | <ul style="list-style-type: none"> • 현존 도구 중 가장 많은 동적 요인 포함 • 영국 이민국에서 개발(1999년) • 영국법정은 모든 범죄자 대상 판결전조사서에 활용을 요구 • 12개 영역 | <ul style="list-style-type: none"> • 범용 활용 • 캐나다 교정국 개발(1982년) • 정적요인으로만 구성 • 인구통계학적, 범죄경력 등 15항목 | <ul style="list-style-type: none"> • 1995년 개발 • 54개 항목의 점수 합산 |
| 항목 및 내용 (숫자는 항목수) | <ul style="list-style-type: none"> • 최초 경찰입건 연령 • 과거 성범죄 횟수 • 교정시설 수용기간 • 피해자 연령·관계·성별·나이 • 범죄책임 수용 | <ul style="list-style-type: none"> • 이력척도(문제이력) 10 <ul style="list-style-type: none"> - 폭력·기타 반사회적 행동·대인관계·고용·물질사용·주요 정신장애·성격 장애·외상 경험·폭력적 태도·치료 혹은 관리감독 반응 • 임상척도(최근문제) 5 <ul style="list-style-type: none"> - 통찰력·폭력사고 혹은 의도·주요 정신장애 증상·불안정성·치료 혹은 관리감독 반응 • 위험관리척도(미래문제) 5 <ul style="list-style-type: none"> - 전문서비스와 계획·주거환경·개인적 지지·치료 혹은 관리 감독 반응·스트레스 혹은 대처 | <ul style="list-style-type: none"> • 비행정보(범죄경력) • 범죄분석 <ul style="list-style-type: none"> - 유형·형태·피해자정보·비행장소·동기 • 주거환경 • 교육·직업훈련·고용능력·읽고쓰는능력·수리력·직업능력평가 • 재정관리·수입 • 대인관계 <ul style="list-style-type: none"> - 결혼·안정성과 만족도·가족의지지·이동 초기 가족관계 • 생활양식 • 약물남용 • 알코올남용 • 정서적 문제 <ul style="list-style-type: none"> - 스트레스·우울증 대처능력 | <ul style="list-style-type: none"> • 본 법의 내용 • 초범연령 • 과거 수용경력 • 과거 가석방 여부 • 탈옥전력 • 위험수 분류경험 • 최초 기소연령 • 폭행전력 • 혼인상태 • 직전 비행시기 • 부양가족수 • 총형기량 • 과거 성폭행 여부 • 과거 가택침입 여부 • 체포당시 고용상태 | <ul style="list-style-type: none"> • 범죄기록 10 • 교육·직업 10 • 재정상태 2 • 가족·결혼관계 4 • 주거환경 3 • 여가·오락 2 • 동료·친구관계 5 • 음주·약물 9 • 정서·인성 5 • 태도·지향 4 |

| 구분 | KSORAS_한국 | HCR-20 Ver.3_미국 | OASys_영국 | SIR_캐나다 | LSI-R_미국 |
|----|--|--|---|--|----------|
| 판정 | <ul style="list-style-type: none"> 총점 29점으로 13점 이상 고위험군, 12점 이하 저위험군으로 분류 | <ul style="list-style-type: none"> 폭력행위 또는 위험행동 가능성 판정 기준은 변별기준점(Cut off point)의 설정에 따라 게 되는데, 예를 들면 COP 20점인 경우 이 점수 이상은 폭력 위험성 있다고 분석 | <ul style="list-style-type: none"> 사고와 행동 <ul style="list-style-type: none"> - 인지적 결손·충돌조절·문제해결능력 태도 <ul style="list-style-type: none"> - 범죄 지지적 태도·자신의 범죄행위에 대한 태도 | <ul style="list-style-type: none"> 점수: -30~+27 재범 위험성 5개 집단 분류: +6 이상, +1 이상, -4 이상, -8 이상, -9 이하 ※ +6 이상 집단은 Very Good: 재범 위험성 가장 낮음 | |

5) 위험성평가 방안 도출을 위한 두 가지 접근 방식

이 연구에서는 3종류의 사고사례에 대해 두 가지 접근방식을 함께 적용하여 샘플 체크리스트를 각각 제안한다. 전통적 접근방식과 시스템적 접근방식이다. 이 연구에서는 이미 공개되거나 일반적으로 알려진 조사보고서와 인터넷 등에서 구할 수 있는 자료를 바탕으로 분석을 수행하였다. 분석은 개인별 성향과 관점에 따라 중점을 두는 곳과 진행 과정이 다를 수 있다. 이 연구는 정답이 있는 체크리스트를 제안하고자 함이 아니다. 위험성평가는 사업장별로 해당 공정이나 작업, 기계·설비별로 다르게 추진할 수 있다. 당연히 그러한 분석 과정과 활용하는 서식에 정답은 없다.

전통적 접근방식은 사고조사와 분석과정에 우리가 흔히 적용하는 그 방식이다. 위험성평가라는 절차를 이행하기 위해서는 대체로 기법을 막론하고 거치게 되는 일반적인 과정이다. 사고 조사내용을 바탕으로 먼저 법·제도적 측면에서 문제점을 정리하고, 전문가들과 함께 기술적 원인을 분석하고 그 결과로부터 예방대책을 선별하고 고민한다. 이 과정에 관련 기술자료, 선행연구자료 등이 더불어 조사된다. 이 과정에서 어느 정도 정리된 자료를 갖고 관련 분야 전문가들과 검토과정을 수시로 거치면서 자문의견을 듣고 다시 정리한다.

이러한 전통적 방식은 사실 범죄예측 위험성평가 도구의 제1세대에 해당한다. 앞에서 기술하였듯이 이수정 등(2010년)은 제1세대 기술은 현장에서의 전문가별 직관력과 판단력에 의존했고, 오늘날에도 가장 일반적으로 사용되는 방법이기도 하나 객관적 증거제시 기능이 없고 전문가에 따라 서로 다른 의사결정이 나타난다는 점을 문제점으로 정리했는데, 이는 위험성평가에 있어 사고조사와 분석 과정의 전통적 접근방식도 잘 표현한 문장이라 생각한다. 그러나 위험성평가를 정량화하여 시도할 수 있을 정도의 자료가 축적되지 않으면, 이러한 전통적 접근방식 외에는 위험성평가를 시작할만한 다른 방법이 없는 것도 현실이다.

다른 접근방식인 시스템적 사고분석을 위해 이 연구에서 연구자들은 STAMP-CAST⁷⁴⁾ 분석방법을 이용하였다. STAMP는 사고 원인 모델과 분석과정으로 Leveson이 2004년에 발표하였다. Leveson(2004년)에 따르면, 이 기법은 과거의 순차적 사고분석기법에서 대응하기 어려운 한계를 고려하여 사고에 대해 시스템적으로 접근을 시도한 방식이다. STAMP에서 사고는 설계·개발 및 운영단계에서 상호 작용하는 시스템의 구성요소 사이에서 시스템 안전제약 조건을 부적정하게 시행한 결과라는 개념을 도입하고 있다. STAMP는 안전을 실패(Failure)의 예방 문제가 아닌 제어의 문제로 보고 있으며, 제약 조건은 환경적 또는 재정적 조건, 규칙, 절차, 장비, 기술 설계 등이 될 수 있다. CAST는 시스템 이론 기반의 원인 분석방법으로 시스템 관점에서 사고 인과관계를 분석하는 구조화된 기술이다. CAST는 조사 기법이 아니라 분석방법으로 CAST 분석을 수행하면 조사가 진행됨에 따라 손실이 발생한 이유에 대한 포괄적인 설명을 작성하고, 향후 관련 사고를 예방하기 위한 권고사항을 공식화하는 데 도움을 주기 위한 조사 중에 어떤 질문에 답해야 하고 어떤 정보를 수집해야 하는지 식별하는 데 도움이 된다.

또한 Leveson(2019년)에 따르면, STAMP는 분석방법이 아니고 사고가 어떻게 발생하는지에 대한 모델 또는 가정들의 집합이라 할 수 있으며, CAST는 시스템 이론에 기초한 사고 원인 분석방법으로 STAMP를 사용하고 있다. STAMP에서 사고조사의 목표는 안전제어구조가 훼손되어(Violated) 있는 안전제한조건을 시행할 수 없는 이유를 식별하고 향후 관련 손실을 방지하기 위해 제어구조에 어떤 변경이 필요한지 결정하는 것이다. STAMP 모델의 기본 제어구조는 시스템 개발 구조 및 시스템 운영 구조를 포함하고 있으며, 각 제어구조는 계층으로 구성되어 있다. 상위 구조에서는 안전정책, 표준, 절차 등을 결정하고, 하위 구조에서는 정책이나 절

74) STAMP-CAST: System Theoretic Accident Model and Processes - Causal Analysis on Systems Theory

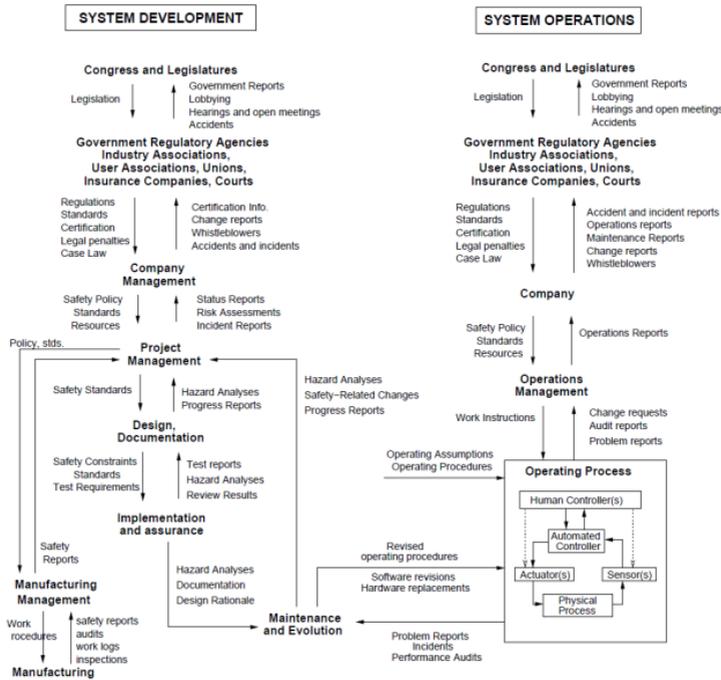
차를 실제로 수행하는 역할을 하며 실제로 동작하는 운영 절차나 제어 구조도 하위 구조에 포함되어 있다. 시스템 모형은 시스템의 구성요소를 계층별로 나타낸 후 상위 레벨의 결정사항과 하위레벨의 피드백을 표시하는 방식으로 작성할 수 있다. [그림 II-4]75)은 STAMP의 일반적인 사회-기술 제어 모형을 나타내고 있다. STAMP는 상향식이 아닌 하향식이므로 매우 복잡한 시스템에 적용할 수 있고, 사고나 손실의 원인 요소가 되는 소프트웨어, 사람, 조직, 안전문화 등을 모두 포함하고 있어, 이러한 사항들을 다른 방법으로 별도로 다루지 않아도 되는 장점이 있다. STAMP를 이용하여 사고를 분석하는 순서는 ‘CAST HANDBOOK (2019)’에 제시되어 있는데 아래와 같이 정리할 수 있다. [그림 II-5]76)에는 CAST의 구성요소 및 분석 절차를 나타냈다.

- ① 분석에 필요한 기초자료 수집
- ② 현재의 안전제어구조 모형화
- ③ 제어구조 구성요소를 조사하여 사고 방지에 효과가 없었던 이유 파악
- ④ 전체 제어구조에서 사고에 기여한 결함 식별(개별 시스템 제어구조의 구성요소 포함)
- ⑤ 유사 손실 방지를 위한 권고사항 작성

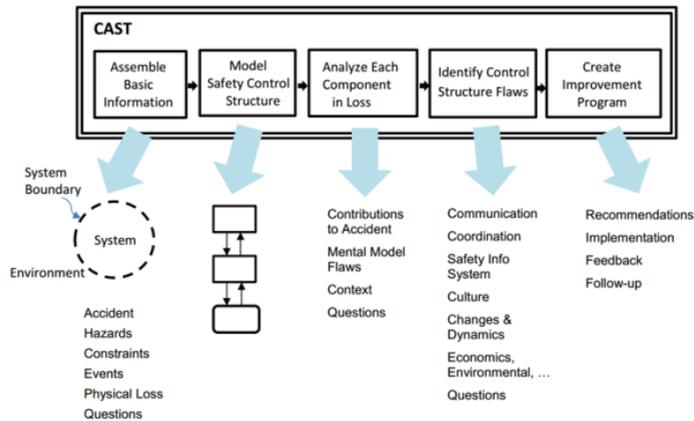
정리하면, 앞에서 전통적 분석방식은 범죄예측 위험성평가 도구의 제1세대에 해당한다고 기술했지만, 시스템적 분석방식이 범죄예측 위험성평가 도구의 제1세대에 해당하는 방식이라고 단언할 수는 없다. 정량화된 방식은 아니지만 분석 전개에 체계화, 구조화를 도입한 방식이고 분석자가 어느 정도 활용에 익숙해지면 분석 과정과 결과에 차이가 나지 않을 것으로 예상되기 때문이다. 하지만, 두 방식 모두 이수정 등(2010년)이 지적했듯 ‘현장에서의 전문가별 직관력과 판단력에 의존했고, 객관적 증거제시 기능이 없

75) Nancy Leveson, A new accident model for engineering safer system, 2004
 76) Nancy G. Leveson, CAST HANDBOOK. 2019

고 전문가에 따라 서로 다른 의사결정이 나타난다는 점은 여전히 위험성평가 도구 측면의 문제점으로 남을 것으로 생각된다.



[그림 II-4] STAMP의 일반적인 사회-기술 제어 모형



[그림 II-5] CAST의 분석 절차 및 단계별 구성요소

전통적 분석방식과 시스템적 분석방식, 이 두 가지 접근방식은 실무에서 상호보완적으로 사용될 수 있다. 산업현장에서는 시스템적 접근방식에 익숙해지는 데는 별도의 노력과 시간이 걸릴 것이므로 우선은 전통적 방식으로 접근하여 조사된 사고결과에 대해 분석을 수행하고 문제점을 모두 도출하여 토론을 거쳐 체크리스트를 만들 수 있다. 이러한 체크리스트를 현장에 적용하면서 잘 맞지 않는 사례가 발생하면 새로운 체크리스트를 만들거나 이미 만들어진 체크리스트를 보완하면 된다. 현장에 맞는 체크리스트가 공정, 작업, 기계설비별(업무단계에 맞춰)로 충분히 만들어지고 관련 체크리스트를 활용한 위험성평가 자료가 충분히 축적되면 이러한 위험성평가를 통계적으로 정량화 할 수 있는 방안도 시도해 볼 수 있을 것이다.

5. 소결

1) 위험성평가

위험성평가는 이제 산업현장 안전관리의 기본 개념이자 실천 도구이다. 안전관리의 중심에 위험성평가가 있다. 위험성평가의 이행 주체는 안전관리자 등이 소속된 안전부서가 아니다. 안전부서는 사업주와 안전보건관리 책임자를 보좌하고, 관리감독자에게 지도·조언하는 일종의 참모조직이다. 이행 주체는 모든 업무단계에 걸쳐 각 업무를 수행하는 그 조직의 구성원 모두이다. 그 중심에는 관리감독자가 있다. 현장을 가장 잘 아는 구성원은 근로자들이므로 근로자들의 참여 없이는 제대로 된 위험성평가가 이행되기는 어렵다.

따라서 사업주, 관리감독자, 근로자 모두 거부감 없이 토론하고 협의할 때 쉽고, 편하게 쓸 수 있는 도구로서 위험성평가 방법이 필요하다. 현재 산업현장에서 흔히 사용되는 위험성평가 도구는 기술적 사항 중심이고, 활용에 전문성을 요구하며, 서류작업도 많다. 현장의 거부감이 여전히 크다.

2019년 작업환경실태조사 결과에 따르면, 사업장 14만 3,716개소 중 위험성평가 최초평가 미실시 개소는 64.5%, 정기평가 미실시 개소는 66.2%로 나타났다. 위험성평가의 현장 작동성이 여전히 저조한 실정이다.

박두용 등(2009년)이 연구 결과에서 제시한, 독일 기계금속산재조합 전문가가 위험성평가 사례로 보여 준 1쪽 짜리 수기 평가 결과지는 극단적이기는 하나 우리에게 위험성평가 개념과 접근법의 고민이라는 측면에서 시사하는 바가 크다.

2) 체크리스트 제안

산업현장용 위험성평가 도구는 쏠단계에 걸쳐 쏠조직(실제적으로 관리감독자 중심)이 스스로 이행할 안전관리 역할을 쉽게 직관적으로 파악할 수 있어야 하고, 특히 조직이 많고 기능이 복잡한 중규모 이상, 대기업에서 명확히 역할 구분이 이해되어야 한다. 더불어 소규모 사업장의 현장 작업자들도 쉽게 이해하고 바로 적용할 수 있고 서류작업이 적을수록 그러한 도구를 현장에서는 좋게 받아들일 수 있을 것이다. 이를 통해 위험성평가에 있어 현장 작동성의 향상도 기대해 볼 수 있을 것이다. 이러한 실정에 가장 잘 부합하는 위험성평가 도구는 체크리스트 방식이라 판단하고, 이 연구에서는 체크리스트 방식을 제안하였다.

그간의 기술적 사항 중심의 산업현장 위험성평가에서 좀 더 다른 다양한 요인들을 분석하는 것이 타당한 접근법이겠지만, 수집한 사고조사 결과 등이 그러하지 못했다. 사고분석의 토대는 당연히 사고조사 결과이기에 이 연구의 한계점이기도하다. 하지만, 기술적 사항 중심의 분석에서 벗어나 다양한 다른 측면의 분석을 시도하고자 시스템적 분석방식을 활용하였다. 연구 결과에서 보듯이 시스템적 분석방식은 조직의 구성, 조직의 역할, 업무 절차 등의 파악에 체계적인 시각을 제시한다. 이 방식을 곧바로 사업장에서 활용하기는 어렵겠지만, 체크리스트 샘플을 개발·보급하는 공단에서는 활

용할 수 있는 기법이다.

이 연구에서 제안하는 위험성평가 도구인 체크리스트는 일종의 샘플이다. 가급적 복잡하거나 어렵지 않게 작성하고자 노력하였다. 핵심적인 사항은 포함시키되, 많은 양으로 인해 거부감이 들지 않게 고민하였다. 위험성평가에서 요구되는 안전조치 수준은 사업장마다 상황이 다르겠지만 법이 요구하는 수준은 일정한 기준을 제시하고 있다. 모든 사고를 막을 수는 없더라도 기술적 해결 가능성, 투자 비용, 사회적 인식의 정도 등을 종합적으로 고려한 법적 기준은 사업장에서 준수할 최소한의 기준이다. 이 연구에서 제안된 체크리스트는 기본적으로 이러한 법적 기준을 바탕으로 하되, 사고 사례별 중요한 영향 항목을 추가적으로 반영하였다. 따라서 사업장마다 다른 환경에는 제안된 샘플이 전체적으로 또는 부분적으로 적당하지 않을 수 있다. 샘플은 현장의 환경과 여건, 작업내용, 작업자 행동방식에 따라 달라진다는 것을 의미한다. 제안된 체크리스트를 참고하여 사업장 여건에 맞는 항목을 선택하고, 또한 해당 항목별 세부적이고 구체적인 조치기준과 방법 등은 사업장의 안전부서(또는 민간기관) 전문가, 현장부서의 기술 전문가 등의 협조를 받아 작성·반영하는 것이 타당할 것이다. 또한, 한번 작성된 위험성평가표는 그것이 유효한 기간 내에서만 가치가 있다. 변경해야 할 시기가 오면 적기에 변경해야 다시 그 가치를 발휘할 수 있게 된다. 샘플을 활용하는 사업장에서는 당연히 사업장 환경에 맞게 법적 기준과 그 이상 수준의 타당한 항목을 추가하거나 삭제하는 방식으로 보정하고, 달라지는 법적 기준과 사업·현장 환경에 맞게 수시로 갱신하여 사용하는 것이 바람직하다.

3) 체크리스트의 발전방향

공단이나 사업장에서 개발하는 체크리스트는 공정, 기계·설비, 작업내용 등에 맞게 여러 종류로 개발하는 것이 바람직할 것이다. 체크리스트는 해당

작업이나 환경에 특화되고 단순할수록 좋을 것이기 때문이다. 그러한 향후 개발과정에 참고할만한 사례로 범죄예측 위험성평가 도구의 조사·분석 결과를 이 연구에 반영하였다. 어느 정도 자료가 축적되면 현재의 정성적 평가에 통계적 분석방식을 적용할 수 있게 될 것이다. 또한, 이 평가 도구는 종류도 많지만 발전과정이 상당히 시사하는 바가 크다. 더구나 사람의 영역을 중히 여긴다는 측면에서 그간의 산업현장의 평가 도구가 기술적 사항 중심에 치중됐다는 측면에서 벗어나는 데에도 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

Ⅲ. 사고사례 분석 및 위험성평가 방안



Ⅲ. 사고사례 분석 및 위험성평가 방안

1. 사고사례 분석 개요

사고사례 분석 대상으로 건축물 해체공사 중 붕괴사고, 열매체유 보일러 화재·폭발사고, TMAH⁷⁷⁾ 급성중독사고 등 3건을 중심으로 관련 사고사례를 여러 건 포함시켰다. 급성중독사고의 경우 여러 해 전 작업자 실명 등으로 사회적 이슈가 되었던 메탄올 급성중독사고를 연구 초기 다루었으나, 상대적으로 작업자들의 희생이 컸고 향후에도 재발 우려가 높은 TMAH 사고를 다루어보자는 자문의견에 따라 연구 대상을 변경하였다. 연구 초기에 이루어진 메탄올 사고사례의 자료수집 및 분석 결과는 부록에 반영하여 향후 후속연구 등에서 활용될 수 있도록 하였다.

사고사례 분석의 목적은 앞에서 기술하였듯이 쏘단계 및 쏘부문(부서)의 실질적인 위험성평가 참여 및 역할 수행 방안을 찾는 데 있다. 목표는 그 이행을 확보할 수 있는 체크리스트의 제안이다. 따라서 연구는 당연히 세부적이거나 세세한 원인의 파악보다는 더 큰 틀에서 향후 동종유사의 사고 재발을 방지하는데 요구되는, 각 위험성평가 이행 주체가 수행하여야 할 핵심적인 역할을 파악하는데 중점을 두었다. 각 사고사례는 서로 발생 양상과 대상, 내용의 차이가 큰 만큼 분석 과정에 대한 기술 양식의 의도적 통일성 추구는 하지 않았다. 가장 적합하고 창의적인 양식으로 연구자가 분석하고 합리적인 결과에 이르는 것에 집중하였다.

77) 수산화테트라메틸암모늄(Tetramethylammonium hydroxide, TMAH)은 반도체, 디스플레이 제조산업에서 현상액으로 주로 사용된다.

2. 사고사례 분석

1) 건축물 해체공사 중 붕괴사고 사례

전통적 접근방식의 분석

(1) 해체공사의 개요

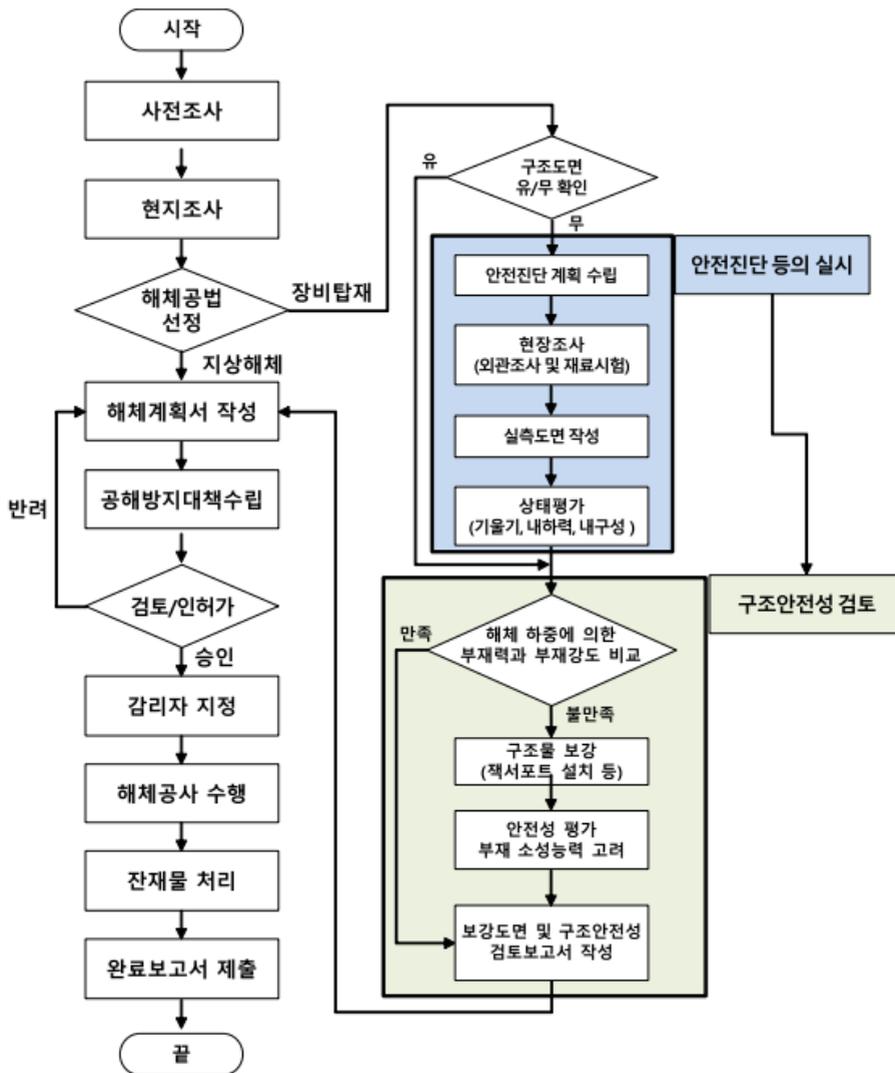
해체공사는 건축물을 건축·대수선·리모델링하거나 멸실시키기 위하여 건축물 전체 또는 일부를 파괴하거나 절단하여 제거하는 공사를 말하며, 건축물의 노후화에 따른 내력저하·손상 등으로 재건축·리모델링을 하기 위해 시행되는 건설공종이다.⁷⁸⁾ 국내 건축물의 경우 준공 후 35년 이상 경과한 건축물이 약 30%를 차지하는 등 건축물 노후화에 따른 해체물량이 향후에도 증가할 것으로 예상된다.⁷⁹⁾ 해체공사는 사전 안전성 검토 없이 경험에 의한 임의 작업 시 대형 붕괴사고가 발생하고 있는 고위험공사이다. 건축물관리법 개정 등을 통해 제도개선이 이루어지고 있지만 소규모 해체공사 현장에서는 구조안전성 검토를 실시하지 않고, 구조보강이 미흡한 상태로 작업하고 있는 실정이다. 국내 해체공사 안전과 관련된 제도는 과거 『건축법』에 철거와 관련된 인허가기관에 신고 조항이 있었으며, 일부 지방자치단체의 조례에도 관련 내용이 있었다. 건축물 해체공사 중 붕괴사고 예방 등의 목적으로 2019. 4. 30. 건축물관리법이 제정되었으며, 건축물 해체공사를 위한 계획수립 단계부터 공사의 허가, 시공 및 감리 단계에 이르기까지 안전관리를 위한 관계자의 의무와 책임을 강화하고, 관련 의무를 위반한 자에 대한 처벌 근거를 마련하고자 최근 일부 개정되어 2022. 8. 4. 시행될 예정이다.

해체공사의 업무순서는 [그림 III-1]과 같다. 사전조사 등 발주·설계단계,

78) 국토교통부, 2022; 안전보건공단, 2017

79) 안전보건공단, 2017

인허가단계 및 시공단계 등으로 구분되며, 생애주기별 참여주체가 다양하고, 업무단계별 중요사항에 대한 검토가 필수적이다.



[그림 III-1] 해체공사 업무순서(국토교통부, 2021.)

(2) 선행연구 분석

김예성 등(2021년)은 건축물 해체 안전관리 현황 및 향후 과제 연구에서 반복되는 붕괴사고를 예방하기 위해 해체공사 현장 안전관리 강화와 조직 육성의 필요성을 강조하였다. 안전관리 강화 방안으로는 건축사·기술사 등 전문가가 해체계획서 직접 작성을 제안하였고, 조직 육성 방안으로는 해체계획서를 검토하는 담당 공무원의 경우 전문적인 지식이 있는 전문가로 배치하고 지역건축안전센터의 활용을 제안하였다.

하기주 등(2013년)의 국내 해체공사의 활성화를 위한 국가기술자격제도 도입방안에 관한 연구에서는 해체공사의 증가, 대형화 및 복잡화에 따른 재해 예방을 위해서는 해체공사에 대한 전문지식을 가진 전문가(자격자)가 필요함을 강조하였다. 이에 해체공사 전문업종에 대한 국가기술자격제도의 도입의 필요성, 신설기준 및 타당성 등을 구체적으로 분석하여 제도 도입을 제안하였다.

배재현(2012년)은 건축철거 시 붕괴사고의 방지를 위한 제도적 논의 연구에서 붕괴사고의 주요 원인으로 해체작업계획의 부실과 전문가 부재 등을 지적하였다. 또한 제도개선 방향으로 ①10층 이하의 건축물에 대해서도 안전관리계획을 도입하도록 개정, ②점차적으로 고층화·대형화 될 해체 대상 건축물에 대비한 제도 마련, ③해체산업 관련 전문기술인력 양성 등을 제안하였다.

최성식(2010년)의 해체공사 안전관리 평가기준에 관한 연구에서는 해체공사의 체계적인 안전관리를 위하여 현장 종사자 대상 설문조사 및 국외 관련 기준을 참고한 해체공사 안전관리 평가기준을 제시하였다.

심학보 등(2021년)의 지상 및 지하구조물 해체공사를 위한 구조 안전관리 방안 연구에서는 철거공사에서 구조적 안전성 향상이 필요한 부분을 검토하였다. 철거공사 주요 안전관리 내용은 ①철거공사 작업순서를 반영한 구조검토서, ②강관비계, 분진망 설치 및 해체, ③시스템 비계 설치 및 해

체, ④낙하물방지망 설치 및 해체, ⑤잭서포트 설치 및 해체, ⑥장비 작업 동선, ⑦구조물 철거 장비, 잔재물 높이, ⑧부지정리, ⑨장비운전원으로 분류하여 정리하였다.

김승원(2012년)은 건축물 해체공사 중의 붕괴사고 원인과 대책 연구에서는 2012년 역삼동 건축물 해체공사 중 붕괴사고 원인의 제도적 문제점으로 ‘사전예방은 미흡하고 사후조치하는 제도, 오래된 건축물의 도서 미보관, 전문가의 참여기회 부족 및 구체적인 지침서 부재’로 분석하였다. 또한, ‘실효성 있고 합리적인 해체공사 관련 법령과 제도 수립, 실질적인 해체공사 지침서 등’의 필요성을 강조하였다.

최종수 등(2010년)의 건축물 해체공사의 통합 안전관리 가이드라인 개발 및 적용성 평가 연구에서는 국내·외 관련 법령 등을 조사·분석하여 해체현장에서 반드시 확인하여야 하는 핵심 안전관리사항을 선별하여 해체공사 안전관리 가이드라인을 개발하였다. 가이드라인에는 안전관리매뉴얼, 체크리스트, 팸플릿 및 전자매뉴얼 등이 포함되어 있다.

하기주 등(2010년)은 국내 해체공사 안전관리 관련 법령의 체계적인 개선방안 연구에서 국내·외 관련 법령 등을 검토하여 국내 해체공사 관련법 중 안전관리와 관련된 개선 방안을 제시하였다. 주요 개선방안으로 건설기술관리법 시행령 제46조의 2(안전관리계획의 수립)에 따른 안전관리계획서 제출 대상(10층 이상의 건축물 해체 시 제출) 범위 확대를 제안하였다.

(3) 해체공사 관련 법령 및 규정

가) 산업안전보건법

사업주(시공사)는 「산업안전보건법」 제29조와 제38조에서 규정한 해체공사 중 근로자의 사고위험 예방을 위하여 안전교육 및 안전조치를 하여야 하고, 착공 전에 법 시행령 제42조제3항에 따라 유해·위험방지계획서를 작성하여 안전보건공단에 제출하고 심사를 받아야 한다.

〈표 Ⅲ-1〉 유해·위험방지계획서 제출 대상(해체공사)

| 구 분 | 대 상 |
|------------------|---|
| 시행령 제42조 제3항 제1호 | 1. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 건축물 또는 시설 등의 해체공사 가. 지상높이가 31미터 이상인 건축물 또는 인공구조물 나. 연면적 3만제곱미터 이상인 건축물 다. 연면적 5천제곱미터 이상인 시설로서 다음의 어느 하나에 해당하는 시설 1) 문화 및 집회시설(전시장 및 동물원식물원은 제외한다) 2) 판매시설, 운수시설(고속철도의 역사 및 집배송시설은 제외한다) 3) 종교시설 4) 의료시설 중 종합병원 5) 숙박시설 중 관광숙박시설 6) 지하도상가 7) 냉동·냉장 창고시설 |

산업안전보건기준에 관한 규칙 제38조에서는 건물 등의 해체작업 시 사전조사 및 작업계획서를 작성하도록 규정하고 있으며, 규칙 제52조에서는 구조물 및 이와 유사한 시설물이 붕괴 등의 위험이 있을 경우 안전진단 등 안전성 평가를 실시하여 근로자에게 미칠 위험성을 미리 제거하도록 규정하고 있다.

〈표 Ⅲ-2〉 안전보건규칙의 해체공사 관련 주요 내용

| 구 분 | 주요 내용 |
|--------------------------|---|
| 제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) | 사업주는 건물 등의 해체작업 시 사전조사를 실시하고 그 결과를 기록·보존하여야 하며, 조사결과를 고려하여 다음의 사항을 포함한 작업계획서를 작성하고 그 계획에 따라 작업하여야 한다. 가. 해체의 방법 및 해체 순서도면 나. 가설설비·방호설비·환기설비 및 살수·방화설비 등의 방법 다. 사업장 내 연락방법 라. 해체물의 처분계획 마. 해체작업용 기계·기구 등의 작업계획서 바. 해체작업용 화약류 등의 사용계획서 사. 그 밖에 안전·보건에 관련된 사항 |

| 구 분 | 주요 내용 |
|---------------------------------|---|
| 제52조(건축물 또는 이와 유사한 시설물의 안전성 평가) | 사업주는 건축물 또는 이와 유사한 시설물이 그 자체의 무게·적설·풍압 또는 그 밖에 부가되는 하중 등으로 붕괴 등의 위험이 있을 경우 안전진단 등 안전성 평가를 하여 근로자에게 미칠 위험성을 미리 제거하여야 한다. |

나) 건축물관리법

「건축물관리법」은 건축물을 안전하게 해체하는 데 필요한 사항을 정하여 건축물의 생애 동안 과학적이고 체계적으로 관리함으로써 국민의 안전과 복리증진에 이바지함을 목적으로 제·개정 되었으며, 건축물 해체공사를 위한 계획수립 단계부터 공사의 허가, 시공 및 감리단계에 이르기까지 안전관리를 위한 관계자의 의무와 책임을 규정하고 있다.

해체공사 허가 및 신고제도

관리자가 건축물을 해체하려는 경우 「건축물관리법」에 따라 허가권자(특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장)의 허가를 받아야 하며, 일부 대통령령으로 정하는 바에 따라 신고하면 허가를 받은 것으로 본다. 건축물의 해체와 관련된 해체공사 신고대상과 허가대상 건축물의 분류는 <표 III-3>과 같다.

〈표 III-3〉 건축물관리법의 해체공사 허가 및 신고의 구분

| 구 분 | 내 용 |
|---------------------|---|
| 허가 제30조 제1,2항 | ① 관리자(건축주)가 건축물을 해체하려고 하는 경우에는 특별자치시장·특별자치 도지사 또는 시장·군수·구청장(이하 허가권자라 한다)의 허가를 받아야 한다. ※ 허가 대상 건축물 : 신고대상 건축물에 해당되지 않는 전체 건축물 ② 해체공사 신고대상에 해당되는 경우라도 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 허가권자의 허가를 받아야 한다.(2022.2.3. 신설, 2022.8.4. 시행) 1. 해당 건축물 주변의 일정 반경 내에 버스 정류장, 도시철도 역사 출입구, 횡단보도 등 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 시설이 있는 경우 2. 해당 건축물의 외벽으로부터 건축물의 높이에 해당하는 범위 내에 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 폭 이상의 도로가 있는 경우 3. 그 밖에 건축물의 안전한 해체를 위하여 건축물의 배치, 유동인구 등 해당 건축물의 주변 여건을 고려하여 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 경우 |
| 신고 제30조 제1항 | ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 대통령령으로 정하는 바에 따라 신고를 하면 허가를 받은 것으로 본다. 1. 건축법 제20조제1항제7호에 따른 주요 구조부의 해체를 수반하지 아니하고 건축물의 일부를 해체하는 경우 2. 다음 각 목에 모두 해당하는 건축물의 전체를 해체하는 경우 가. 연면적 500제곱미터 미만의 건축물 나. 건축물의 높이가 12미터 미만인 건축물 다. 지상층과 지하층을 포함하여 3개층 이하인 건축물 3. 그 밖에 대통령령으로 정하는 건축물을 해체하는 경우 ① 『건축법』제14조제1항제1호 또는 제3호에 따른 건축물 ② 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 따른 관리지역, 농림지역 또는 자연 환경보전지역에 있는 높이 12m 미만인 건축물 이 경우 해당 건축물의 일부가 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 따른 도시지역에 걸치는 경우에는 그 건축물의 과반이 속하는 지역을 적용 ③ 그 밖에 시·군·구 조례로 정하는 건축물 |

해체계획서

해체공사의 허가 및 신청을 하고자 하는 경우 신청서와 해체계획서를 함께 제출하여야 하고 해체계획서와 관련된 주요 법령은 〈표 III-4〉와 같다.

〈표 Ⅲ-4〉 건축물관리법의 해체계획서 주요 내용

| 구 분 | 내 용 |
|--------------------------------------|---|
| 해체계획서 작성 시행규칙 제12조 제1~3항 | ① 법 제30조제2항 본문에 따른 해체계획서에는 다음 각 호의 내용이 포함 되어야 한다. 1. 해체공사를 수행하는 자 및 해체공사의 공정 등 해체공사의 개요 2. 해체공사의 영향을 받게 될 「건축법」 제2조제1항제4호에 따른 건축설비 의 이동, 철거 및 보호 등에 관한 사항 3. 해체공사의 작업순서, 해체공법 및 이에 따른 구조안전계획 4. 해체공사 현장의 화재 방지대책, 공해 방지 방안, 교통안전 방안, 안전통 로 확보 및 낙하 방지대책 등 안전관리 대책 5. 해체물의 처리계획 6. 해체공사 후 부지정리 및 인근 환경의 보수 및 보상 등에 관한 사항 ② 허가권자는 법 제30조제3항에 따라 제출받은 해체계획서에 보완이 필요 하다고 인정하는 경우에는 기한을 정하여 보완을 요청할 수 있다. ③ 국토교통부장관은 제1항에 따른 해체계획서의 세부적인 작성방법 등에 관한 필요한 사항을 정하여 고시해야 한다. |
| 해체계획서 제출 법제30조 제3~5항 | ③ 허가를 받으려는 자 또는 신고를 하려는 자는 건축물 해체 허가신청서 또는 신고서에 해체계획서를 첨부하여 허가권자에게 제출하여야 한다. ④ 허가를 받으려는 자가 허가권자에게 제출하는 해체계획서는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자가 이 법과 이 법에 따른 명령이나 처분, 그 밖의 관계 법령을 준수하여 작성하고 서명날인하여야 한다. 1. 건축사법 제23조제1항에 따른 건축사사무소개설신고를 한 자 2. 기술사법 제6조에 따라 기술사사무소를 개설등록한 자로서 건축구조 등 대통령령으로 정하는 직무범위를 등록한 자 ⑤ 신고를 하려는 자가 허가권자에게 제출하는 해체계획서는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자가 이 법과 이 법에 따른 명령이나 처분, 그 밖의 관계 법령을 준수하여 작성하고 서명날인하여야 한다.(2022.2.3. 신설, 2022.8.4. 시행) 1. 건축사법 제23조제1항에 따른 건축사사무소개설신고를 한 자 2. 기술사법 제6조에 따라 기술사사무소를 개설등록한 자로서 건축구조 등 대통령령으로 정하는 직무범위를 등록한 자 ※ 당초 허가 시에만 전문가 서명날인이 적용되었으나, 법 개정으로 신고 시에도 동일하게 적용 |

| 구 분 | 내 용 |
|-------------------------------|--|
| 해체계획서 검토 법제30조 제6~8항 | ⑥ 허가권자는 건축물의 해체를 허가하는 경우와 건축물 해체의 안전한 관리를 위하여 전문적인 검토가 필요하다고 판단하는 경우 건축법 제4조 제1항에 따라 자신이 설치하는 건축위원회의 심의를 거쳐 해당 건축물의 해체 허가 또는 신고수리 여부를 결정하여야 한다.(2022.2.3. 신설, 2022.8.4. 시행) |
| | ⑦ 제6항에 따른 심의 결과 또는 허가자의 판단으로 해체계획서 등의 보완이 필요하다고 인정되는 경우에는 허가권자가 관리자에게 기한을 정하여 보완을 요구하여야 하며, 관리자는 정당한 사유가 없으면 이에 따라야 한다.(2022.2.3. 신설, 2022.8.4. 시행) |
| | ⑧ 허가권자는 대통령령(건축물관리법 시행령 제21조제5항, 다음의 어느 하나)으로 정하는 건축물의 해체계획서에 대한 검토를 국토안전관리원에 의뢰하여야 한다. 1. 건축법 시행령 제2조제18호 나목 또는 다목에 따른 특수구조 건축물 2. 건축물에 10톤 이상의 장비를 올려 해체하는 건축물 3. 폭파하여 해체하는 건축물 |

그 외 건축물관리법 주요 내용

그 외에 착공신고, 허가권자의 현장점검, 해체감리자 및 작업자의 의무 등의 내용을 규정하고 있으며 관련된 주요 내용은 <표 III-5>와 같다.

<표 III-5> 그 외 건축물관리법 주요 내용

| 구 분 | 내 용 |
|-----------------------|---|
| 착공신고 제30조의2 제1항 | 해체 허가를 받은 건축물의 해체공사에 착수하려는 관리자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 허가권자에게 착공신고를 하여야 한다. 다만, 제30조제1항 각 호 외의 단서에 따라 신고를 한 건축물의 경우는 제외한다. |
| 현장점검 제30조의4 | 허가권자는 안전사고 예방 등을 위하여 해체공사 착공신고를 받은 경우 등 대통령령으로 정하는 경우에는 건축물 해체 현장에 대한 현장점검을 하여야 한다.(2022.2.3. 개정, 2022.8.4. 시행) ※ 당초 ‘현장점검을 할 수 있다’에서 ‘현장점검을 하여야 한다’로 개정 |

| 구 분 | 내 용 |
|--------------------------------|---|
| 해체공사 감리자 제31조, 제31조의2 | (제31조) ①허가권자는 건축물 해체허가를 받은 건축물에 대한 해체작업의 안전한 관리를 위하여 건축사법 또는 건설기술진흥법에 따른 감리자격이 있는 자 중 제31조의2에 따른 해체공사감리 업무에 관한 교육을 이수한 자를 대통령령으로 정하는 바에 따라 해체공사 감리자로 지정하여 해체공사감리를 하게 하여야 한다.(2022.2.3. 개정, 2022.8.4. 시행) ③해체공사감리자는 수시 또는 필요한 때 해체공사 현장에서 감리업무를 수행하여야 하며, 자격 또는 경력이 있는 자를 감리원으로 배치하여 감리업무를 수행하여야 한다.(2022.6.10. 신설, 2022.12.11. 시행) |
| 해체작업자 제32조의2 | (제31조의2) 해체공사감리 업무를 하려는 해체공사감리자 및 감리원은 해체공사감리 업무에 관한 교육을 받아야 한다.(2022.2.3. 신설, 2022.8.4. 시행) 해체작업자는 다음 각 호의 업무를 수행하여야 한다.(2022.2.3. 신설, 2022.8.4. 시행) <ol style="list-style-type: none"> 1. 해체계획서대로 해체공사 수행 2. 해체계획서의 화재 및 붕괴 방지 대책, 교통안전 및 안전통로 확보 대책, 추락 및 낙하 방지 대책 등 안전관리대책 수행 3. 산업안전보건법 등 관계 법령에서 정하는 업무 |

법 개정 전·후 비교

국토교통부는 반복되는 해체공사 중 대형 붕괴사고의 재발 방지를 위하여 건축물관리법의 일부를 개정(2022.2.3.)하였고, 개정된 내용은 2022년 8월 4일부터 시행된다. 주요 변경사항은 <표 Ⅲ-6>과 같다.

〈표 III-6〉 건축물관리법 주요 개정 내용 전·후 비교

| 구분 | 변경 전 | 변경 후 |
|-----------------|--|---|
| 허가 대상 확대 | 제30조1항의 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 신고를 하면 허가를 받은 것으로 본다. | 제30조1항의 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 신고를 하면 허가를 받은 것으로 본다. 단, 제1항에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 허가를 받아야 한다. 1. 해당 건축물 주변의 일정 반경 내에 버스 정류장, 도시철도 역사 출입구, 행단보도 등 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 시설이 있는 경우 (이하 생략) |
| 해체계획서 검토 강화 | 허가를 받으려는 자가 허가권자에게 제출하는 해체계획서는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자가 이 법과 이 법에 따른 명령이나 처분, 그 밖의 관계 법령을 준수하여 작성하고 서명날인하여야 한다. 1. 건축사법 제23조제1항에 따른 건축사 사무소개설신고를 한 자 (이하 생략) | 허가 및 신고를 받으려는 자가 허가권자에게 제출하는 해체계획서는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자가 이 법과 이 법에 따른 명령이나 처분, 그 밖의 관계 법령을 준수하여 작성하고 서명날인하여야 한다. 1. 건축사법 제23조제1항에 따른 건축사 사무소개설신고를 한 자 (이하 생략) |
| 허가권자의 현장점검 강화 | 허가권자는 안전사고 예방 등을 위하여 점검이 필요하다고 판단되는 경우 건축물 해체 현장에 대한 현장점검을 할 수 있다. | 허가권자는 안전사고 예방 등을 위하여 해체공사 착공신고를 받은 경우 등 대통령령으로 정하는 경우에는 건축물 해체 현장에 대한 현장점검을 하여야 한다. |
| 해체감리자 교육의무 등 신설 | - | 해체공사감리 업무를 하려는 해체공사감리자 및 감리원은 해체공사감리 업무에 관한 교육을 받아야 한다. 해체공사 현장에서 감리업무를 수행하여야 하며, 자격 또는 경력이 있는 자를 감리원으로 배치하여야 한다. |
| 해체작업자 의무 신설 | - | 해체작업자는 다음 각 호의 업무를 수행하여야 한다. 1. 해체계획서대로 해체공사 수행 (이하 생략) |

다) 국토교통부(고시)

국토교통부고시 제2021-1539호(2021.12.31.) 「건축물 해체계획서의 작성 및 감리업무 등에 관한 기준」에는 건축물의 해체계획서의 작성, 감리자의 지정방법, 감리자의 업무 등에 관한 사항을 규정하고 있으며, 주요 기준은 <표 Ⅲ-7>과 같다.

<표 Ⅲ-7> 해체계획서 작성의 주요 기준

| 구 분 | 주요 내용 |
|---------------------|--|
| 제6조 (해체대상건축물 조사) | 해체 대상건축물 조사 시 고려사항 1. 대상건축물의 용도 2. 사용재료 및 강도 3. 지반특성 4. 하중조건 5. 구조형식 등 |
| | 설계도서가 있는 건축물의 확인사항 1. 건축물의 구조형식, 연면적, 층수(층고 포함), 높이, 폭 등 2. 기둥, 보, 슬래브, 벽체 등 부재별 배치 상태 및 외부에 노출된 주요구조 부재 3. 캐노피, 발코니 등 건축물 내·외부의 캔틸레버 부재 4. 용접부위, 이종재료 접합부, 철근이음 및 정착상태 등 구조적 취약부 5. 건축물 해체 시 박락의 우려가 있는 내·외장재의 유·무 6. 전기, 소방, 설비 계통의 상세 7. 그 밖에 추가적으로 조사가 필요한 사항 |
| | 설계도서가 없는 건축물의 경우 구조안전성 검토를 위해 조사할 사항 1. 변위·변형 2. 콘크리트 비파괴강도 3. 강재용접부 등 결함 4. 강재의 강도 등 |
| 제12조 (해체계획서의 작성) | 해체계획서 포함 내용 1. 해체공사를 수행하는 자 및 해체공사의 공정 등 해체공사의 개요 2. 해체공사의 영향을 받게 될 「건축법」 제2조제1항제4호에 따른 건축설비의 이동, 철거 및 보호 등에 관한 사항 3. 해체공사의 작업순서, 해체공법 및 이에 따른 구조안전계획 4. 해체공사 현장의 화재 방지대책, 공해 방지 방안, 교통안전 방안, 안전통로 확보 및 낙하 방지대책 등 안전관리대책 5. 해체물의 처리계획 6. 해체공사 후 부지정리 및 인근 환경의 보수 및 보상 등에 관한 사항 |

| 구 분 | 주요 내용 |
|------------------|---|
| 제13조 (구조안전계획) | 구조안전계획의 구조안전성 검토보고서에 포함되어야 할 내용 1. 해체 대상건축물 개요 2. 해체공사 구조안전성 검토업무에 참여한 기술자 명단 3. 현장 조사내용 및 조사결과 4. 작용하중(고정하중, 장비하중, 잔재하중 등 관련 하중) 단, 작용하중이 탄성한도를 초과하는 경우에는 건축물의 소성 변형 능력을 고려 5. 관계전문가가 서명 또는 기명날인한 해체순서별 구조설계도서(해체 순서별 안전성에 대한 검토 내용 포함) |
| | 구조안전계획 포함 내용 1. 공통사항 가. 별제 제1호서식에 따른 안전점검토 첨부하고, 안전점검표에 주요공정 (마감재 해체 전, 지붕층 해체 전, 중간층 해체 전, 지하층 해체 전 등 현장조건에 따라 선정)별로 필수확인점을 표기하여야 함. 2. 지상건축물을 해체하는 경우 가. 상부 해체구간의 잔재물 적치를 위한 장소선정 계획과 잔재물 운반계획 나. 상부 해체구간의 잔재물 운반을 위해 기존 구조체의 일부를 제거 하거나 변경을 하는 경우 관계전문가의 협력에 관한 사항 다. 해당 건축물의 전도 및 붕괴방지 대책 라. 발코니, 캐노피 등 건축선에 근접한 구조적 돌출부의 해체 시 작업자 및 외부통행인 등의 피해방지 대책 마. 특수구조 건축물 또는 도심 밀집지역 건축물의 해체공사 시 안전성 확보를 위한 관계전문가와 협력에 관한 사항 3. 지하건축물을 해체하는 경우 가. 잔류한 나머지 건축물에 대한 토압, 수압 및 기타 하중에 대한 안정성 확인 나. 배면토압 및 수압에 대한 구조안전성 검토 다. 지하건축물의 해체 단계별 구조안전성 검토 라. 굴착 영향선에 인접한 석축, 옹벽 및 건축물, 지하매설물 보호 계획 |
| 제14조 (구조보강계획) | 해체공법 및 구조안전성 검토결과가 건축물의 허용하중을 초과하는 경우 구조보강계획을 작성해야 하며, 구조보강계획에 포함되어야 할 내용 1. 해체 대상건축물의 보강 방법 2. 장비탑재에 따른 해체공법 적용 시 장비동선 계획 3. 잭서포트 등의 인양 및 회수 등에 대한 운용 계획 |

라) 건축법

건축법에서는 건축주가 건축물의 해체공사, 대수선 및 용도변경 시 공사의 규모, 목적 등에 따라 허가 또는 신고하도록 하고 있다. 건축법에서 규

정하고 있는 관련 용어의 정의 중 주요 사항은 <표 Ⅲ-8>과 같다.

<표 Ⅲ-8> 건축법의 주요 용어의 정의

| 구분 | 용어의 정의 |
|---------|---|
| 주요구조부 | 내력벽(耐力壁), 기둥, 바닥, 보, 지붕틀 및 주계단 다만, 사이 기둥, 최하층 바닥, 작은 보, 차양, 옥외 계단, 그 밖에 이와 유사한 것으로 건축물의 구조상 중요하지 아니한 부분은 제외 |
| 건축물의 용도 | 건축물의 종류를 유사한 구조, 이용 목적 및 형태별로 묶어 분류한 것 |
| 용도변경 | 건축물의 용도를 필요에 의하여 다른 용도로 변경하는 것 |
| 대수선 | 건축물의 기둥, 보, 내력벽, 주계단 등의 구조나 외부 형태를 수선·변경하거나 증설하는 것으로서 다음의 어느 하나에 해당하는 것으로 증축·개축 또는 재축에 해당되지 아니하는 것 1. 내력벽을 증설 또는 해체하거나 그 벽면적을 30제곱미터 이상 수선 또는 변경하는 것 2. 기둥을 증설 또는 해체하거나 세 개 이상 수선 또는 변경하는 것 3. 보를 증설 또는 해체하거나 세 개 이상 수선 또는 변경하는 것 4. 지붕틀(한옥의 경우에는 지붕틀의 범위에서 서까래는 제외한다)을 증설 또는 해체하거나 세 개 이상 수선 또는 변경하는 것 5. 방화벽 또는 방화구획을 위한 바닥 또는 벽을 증설 또는 해체하거나 수선 또는 변경하는 것 6. 주계단·피난계단 또는 특별피난계단을 증설 또는 해체하거나 수선 또는 변경하는 것 7. 다가구주택의 가구 간 경계벽 또는 다세대주택의 세대 간 경계벽을 증설 또는 해체하거나 수선 또는 변경하는 것 8. 건축물의 외벽에 사용하는 마감재료를 증설 또는 해체하거나, 벽면적 30제곱미터 이상 수선 또는 변경하는 것 |
| 리모델링 | 건축물의 노후화를 억제하거나 기능 향상 등을 위하여 대수선하거나 건축물의 일부를 증축 또는 개축하는 행위 |
| 건축주 | 건축물의 건축·대수선·용도변경, 건축설비의 설치 또는 공작물의 축조에 관한 공사를 발주하거나 현장 관리인을 두어 스스로 그 공사를 하는 자 |
| 설계자 | 자기의 책임(보조자의 도움을 받는 경우 포함)으로 설계도서를 작성하고 그 설계도서에서 의도하는 바를 해설하며, 지도하고 자문에 응하는 자 |
| 설계도서 | 건축물의 건축 등에 관한 공사용 도면, 구조 계산서, 시방서, 그 밖에 국토교통부령으로 정하는 공사에 필요한 서류 |
| 공사감리자 | 자기의 책임(보조자의 도움을 받는 경우를 포함)으로 건축법으로 정하는 바에 따라 건축물, 건축설비 또는 공작물이 설계도서의 내용대로 시공되는지를 확인하고, 품질 관리·공사관리·안전관리 등에 대하여 지도·감독하는 자 |

건축법 제48조(구조내력 등) 제2항 및 같은 법 시행규칙 제12조(건축신고) 제1항 제5호에 따라 건축물을 건축하거나 대수선하는 경우 건축법 시행규칙 별표2의 구조도 및 구조계산서에 따라 구조의 안전을 확인하여야 한다. 다만, 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에 따른 소규모 건축물로서 국토교통부장관이 고시하는 소규모 건축구조기준에 따라 설계한 경우에는 구조도만 해당한다. 구조안전은 고정하중, 적재하중, 적설하중, 풍압, 지진, 그 밖의 진동 및 충격 등에 대하여 안전한 구조를 가져야 한다. 건축허가(신고) 시 구조안전 확인 대상은 <표 III-9>와 같다. 일반적인 건축허가(신고)절차는 민원인이 건축허가신청서 및 필요 증빙서류를 세움터(웹사이트)에 입력하면 지자체 인·허가부서에서 서류검토 후 건축허가(신고)서를 발급한다.

<표 III-9> 해체공사 건축허가(신고) 시 구조안전 확인 대상

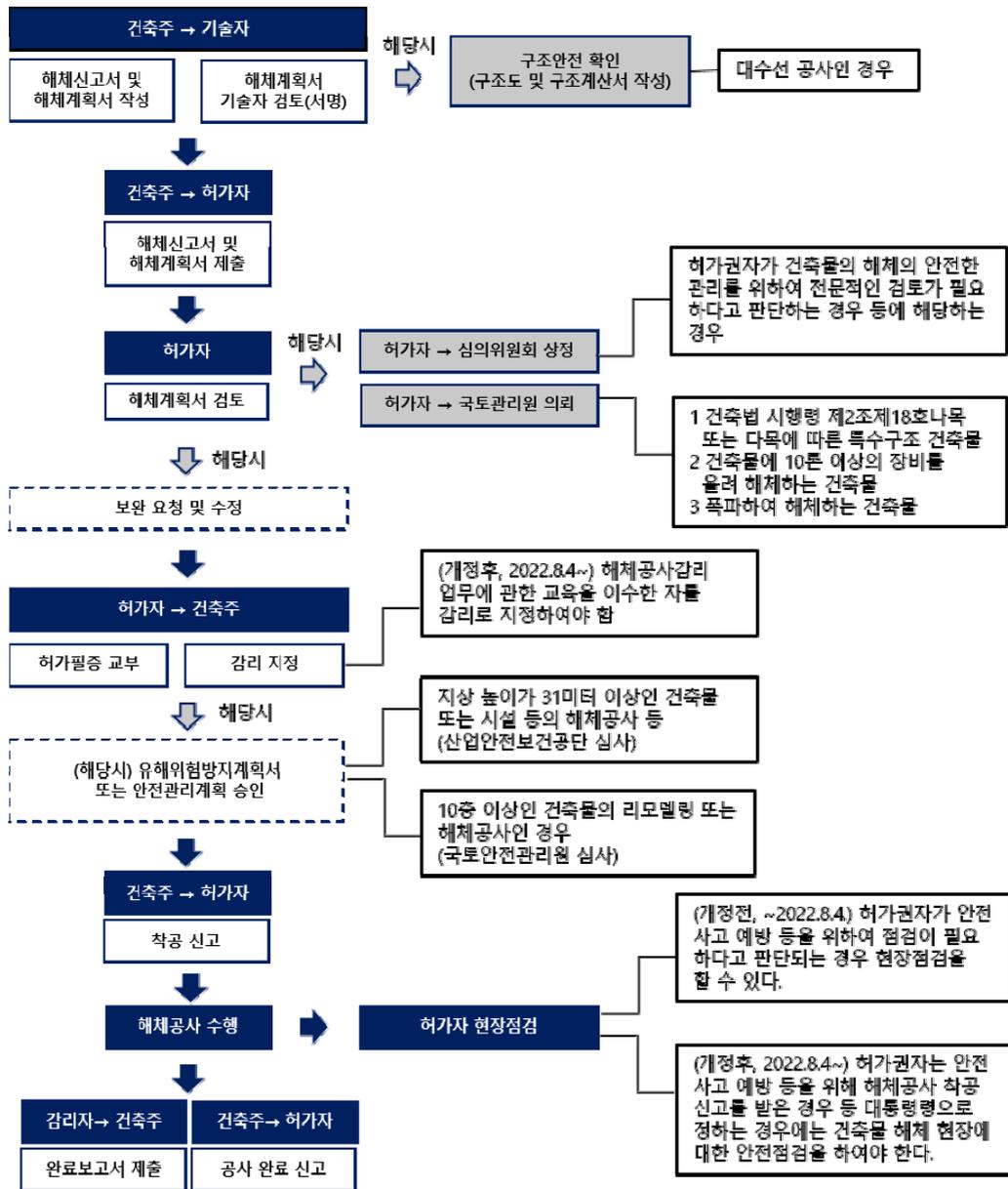
| 구분 | 내용 | 대상 여부 | 추가 제출서류 |
|--------|--|-------|-------------|
| 대수선 공사 | 건축물의 기둥, 보, 내력벽, 주계단 등의 구조나 외부 형태를 수선·변경하거나 증설하는 것 | 대상 | 구조도 및 구조계산서 |
| 용도변경 | 건물의 주요 구조부 변경 없이 인테리어 공사 등을 통해 사용 용도를 변경하는 것 | 비대상 | - |

마) 건설기술진흥법

「건설기술진흥법」 제65조 및 같은 법 시행령 제98조에 따라 ‘10층 이상인 건축물의 리모델링 또는 해체공사’의 경우 건설사업자가 착공 전 안전관리계획을 수립하여 발주자에게 제출 및 승인을 받아야 하며, 발주자는 인·허가기관의 장에게 제출하여 승인을 받아야 한다.

바) 국내 법령에 따른 건축물허가 행정절차

국내 법령에서 규정한 건축물 관련 행정절차를 종합적으로 정리하면 다음의 [그림 III-2]와 같다.



[그림 III-2] 국내 해체공사를 위한 행정 절차도

사) 국외 법령 및 관련 규정

일본의 해체공사

하기주 등(2013년)에 따르면, 일본의 「건설업법」에서는 <표 III-10>과 같이 해체공사 허가를 받아야 하고, 허가 및 시공을 위해서는 <표 III-11>과 같이 일정한 자격을 가진 기술자를 두도록 규정하고 있다. 해체공사의 사회적 중요성과 위험성을 고려하여 전문지식을 가진 기술인력이 필요하다고 판단하여 1994년부터 국토교통성의 지원으로 사단법인 일본전국해체공사업 단체연합회에서 ‘해체시공기사 자격시험 제도’를 시행하고 있다. 이때 해체시공기사는 공사의 계획단계부터 시공 및 폐기물 처리까지 모든 과정에 대한 기술과 능력 자격시험에 응시하여 합격하여야 하며, 2006년까지 11,655명의 합격자가 배출되었다. 5년마다 보수교육으로 갱신제도를 운영하고 있어 일본이 해체공사 전문 인력 육성을 위해 노력하고 있음을 알 수 있다.

<표 III-10> 일본의 건설업법 주요 내용(하기주 등, 2010)

| 구분 | 주요 내용 |
|---------|--|
| 제3조 제2항 | 1. 종합적인 기획, 지도, 조정에서 토목 구조물 또는 건축물을 건설, 보수, 개조 또는 해체하는 공사를 하청 받아 영업하는 사람은 각각 토목공사업 또는 건축공사업의 허가가 필요 2. 해체공사를 하청 받아 영업하는 사람은 건설공사에 관계되는 자재의 재자원화에 관한 법률(건설리사이클법)에 의해서 해체공사를 시공하는 곳의 도도부현(광역 자치 단체) 지사에 등록 필요 |
| 제7조 | 1. 건설업의 허가를 받기 위해 필요한 기술자: 건설업의 허가를 받으려고 하는 사람은 본사, 지사 및 일정한 영업소에 기술자를 영입하여야 함 2. 공사를 시공하기 위해 필요한 기술자: 건설업자는 하청 받은 건설공사를 시공 하려고 할 때 일정한 자격을 가진 주임 기술자를 두어야 함(건설업법 제26조 제1항) |

〈표 Ⅲ-11〉 일본의 해체시공기사 요구조건(하기주 등, 2013)

| 응시자격(학력에 따른 실무경력 충족) | 요구조건(자격시험 응시) |
|---|---|
| 1. 대학졸업자의 해체공사 실무경력 - (지정학과) 졸업 후 1년 6개월 이상 - (타과) 졸업 후 2년 6개월 이상 2. 단기대학, 고등전문학교 또는 전문학교 졸업자의 해체공사 실무경력 - (지정학과) 졸업 후 2년 6개월 이상 - (타과) 졸업 후 3년 6개월 이상 3. 고등학교, 중학 또는 실무학교 졸업자의 해체공사 실무경력 - (지정학과) 졸업 후 3년 6개월 이상 - (타과) 졸업 후 5년 6개월 이상 4. 기타 - 8년 이상 | 1. 토목건축기술 및 관계 법령 2. 해체공법 기기에 관한 전문지식 3. 분별해체 리사이클에 관한 전문지식 4. 설계도서 해독 5. 해체공사에 필요한 설계도서의 작성 6. 해체공사 시공 계획서의 작성 7. 해체 공사비의 적산 8. 해체공사의 시공관리 9. 해체공사 현장 작업원에 대한 교육, 지도, 감독 10. 해체 부산물의 관리 및 적정 처분 |

홍콩의 해체공사

김승원 등(2021년)에 따르면, 홍콩에서 해체공사의 승인을 받기 위해서는 해체공사계획서와 구조안전성 검토보고서를 제출하여야 한다. 해체공사 계획서는 작성 시 구조기술사가 계획과 현장감독 등의 주도적인 업무를 수행하도록 요구되며, 해체공사의 주체별 주요 업무는 [그림 Ⅲ-3]과 같고, 전체 해체공사의 순서는 [그림 Ⅲ-4]와 같다.

전재열 등(2021년)에 따르면, 구조기술사와 관련된 법적 절차가 일부 구조물을 대상으로 의무화되어 있고, 관공서(허가기관)의 참여 및 통제가 해체공사의 전체 과정에 체계적으로 개입하고 있음을 알 수 있다.

| 개발업자 | 구조기술사 | | 관공서 | 시공자 | 관련전문가 |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 해체공사 초기 관련기술자와 구조기술사 지정 | 사전부지 검토 및 현장조사 실시 후 관공서 제출 | 현장 잔여작업의 구조안전성 검증 후 해체공사 완료 | 제출된 안전성검토 보고서, 해체계획서 승인 | 사전계측 후 관공서에 해체공사 승인 요청 후 해체작업 실시 | 해체 완료 시점까지 모든 내용을 관공서에 보고 |

〔그림 Ⅲ-3〕 홍콩, 해체공사 주체별 주요 업무(전재열 등, 2021)

영국의 해체공사

전재열(2021년)에 따르면, 영국의 경우에는 해체공사와 관련된 학회, 대학, 협회 등의 기관에서 해체공사 전문가를 양성하고 있으며, 관련 자격증은 ‘영국 해체공학협회’(The Institute of Demolition Engineer)에서 발급하고 있다. 자격 취득을 위한 주요 시험 내용으로는 해체공사의 사전계획, 위험성평가, 법적 내용 등으로 해체 관련 지식과 안전한 계획을 설명할 수 있는 능력 위주로 구성되어 있다.

미국의 해체공사

전재열(2021년)에 따르면, 미국의 건축물 해체 관련 법령으로는 IBC Section 3303, 3306, 3307에 해당 규정이 있으나, 주로 보행자 보호, 화재안전, 인접건물에 대한 보호 등에 관한 규정으로 구성되어 있다.

(4) 해체공사 중 붕괴사고 분석

지난해 광주 학동 해체공사 중 붕괴사고(9명 사망, 8명 부상)는 국토교통부 중앙건축물사고조사위원회에서 발표한 『광주 해체공사 붕괴사고 조사보고서(2021.8.)』와 언론보도 자료 등을 바탕으로 발주·설계단계, 인허가단계, 시공단계별로 사고원인을 분석하였다.

가) 발주 및 설계단계

해체계획서는 현장조사 없이 사진 등을 기초로 부실하게 작성되었고, 구조안전성 검토 차원에서 실시한 대상 건축물별 강도측정용 비파괴 검사는 비내력벽을 대상으로 실시되었다. 설계도서와 실제구조물 간 일치 여부 확인이 미흡하였다. 구조안전계획서에 구조안전성 검토보고서가 첨부되지 않았으며, 이와 관련된 내용으로 작용하중에 대한 검토와 해당 건축물의 전도 및 붕괴방지 대책, 구조물 붕괴 영향구역 내 버스정류장 등 다중이용 교통시설에 대한 안전대책 등의 검토가 소홀하였다. 안전점검표에는 주요 공중

별로 필수 확인점을 표기하여야 하나 안전점검표 자체가 누락되어 필수확인점을 작성하지 않은 것으로 나타났다.

해체공사계획서는 ‘건축물 해체계획서의 작성 및 감리업무 등에 관한 기준’ 제2장 ‘해체계획서의 작성’에 있는 내용(중분류기준 16개 항목)이 빠짐없이 작성되었는지 검토되어야 하나, 그 중 7개 사항에 대해서만 검토하고 적정한 것으로 검토의견서를 발급하는 등 부실하게 수행되었다. 건축물 해체(철거) 계획서 검토 확인서에 구조안전성 검토, 붕괴방지 대책의 검토 및 결과가 작성되지 않았고, 철거공사 순서 중 구조안전성 관련 검토(해체 방식과 순서, 잭서포트 보강, 해체장비 검토)가 누락되었으며, 상세 철거 순서가 표기되지 않았다. 또한 성토체를 이용할 경우 성토체에 대한 구조안전성 검토가 필요하나 이에 대해 검토하지 않은 것으로 확인되었다.

나) 인허가단계

해체허가신청서 및 감리계약서상 시공자에 도급인(도급사, 도급사업주)을 기재하지 않고, 수급인(하도급사, 하도급사업주)을 기재하여 해체공사 감리자와 도급인 간의 업무적 연결고리가 단절되고 감리 권한 행사에 문제의 소지가 있는 것으로 나타났다. 해당 현장의 해체공사 하도급은 불법 재하도급까지 다단계로 이루어지면서 하도급으로 인해 공사비가 낮아져 안전관리에 취약할 수밖에 없었다⁸⁰⁾. 해체계획서 검토자와 허가기관에서는 계획서 검토 시 국토교통부 고시 기준에 따라 계획서 내용이 빠짐없이 작성되었는지 확인하여야 하나, 이를 확인하지 못하고 승인한 것으로 나타났다.

다) 시공단계(시공 및 감리업무)

해체공사 감리업무 표준계약서의 해체 작업자는 수급인으로 명기되어 계약서상 감리업무의 대상에 해체공사의 도급인이 배제되었고, 해체공사계획

80) 연합뉴스 등 언론보도, 2021.8.9., “광주 건물붕괴는 인재...불법 재하도급에 공사비 1/7로 줄어”

서에 표기된 “필수 확인점”은 감리자가 입회점검을 하도록 규정하고 있지만 계획서상 필수 확인점 관련 내용 부재 및 입회점검도 실시하지 않은 것으로 나타났다. 해체공사 감리자는 해체계획서에 맞게 공사하였는지, 변경된 공법이 적용되는지 여부를 확인하지 않았고, 해체계획서 상 붕괴방지 대책이 부실하였으나, 감리 측의 검토와 보완 요청이 없었으며 현장 확인도 이루어지지 않았다.

철거공사 특기시방서 검토 결과 철거공법은 상부에서 하부로 체계적으로 진행하고 각 층별 철거작업이 완료되면 층마다 발생물을 신속히 처리하여 아래층의 지지대에 과도한 부담이 되지 않도록 하고 있었지만, 현장에서는 철거공법을 임의 변경하여 수직으로 옆면을 먼저 철거하였고, 아래층 지지대를 미설치한 상태에서 철거 잔재물을 철거장비의 성토층으로 사용하여 아래층에 추가 하중이 작용한 것으로 분석되었다. 이때 해체공법을 변경하는 경우 사전에 감리자에게 보고하여 변경의 적합성 등을 검토·확인 받는 절차를 거쳤어야 하나 이루어지지 않았다. 회의록에 대한 검토 결과 장비와 건물 간격 유지에 대한 논의는 철거 건물이 현장 측으로 전도되는 상황을 가정한 것으로 도로 측으로 전도될 가능성을 고려한 내용은 없었다. 또한, 수직철거 등 변경 협의된 철거방식은 철거순서가 이미 작성된 특기시방서 내용과 상이하나 별도의 검토나 승인절차 없이 붕괴건물 철거작업에 적용되었다. 결론적으로 사고의 직접원인은 구조안전성 검토 및 구조보강 없이 건물의 내부를 부분 해체한 후 3개층 이상(약 10m 이상) 성토된 토사의 연속하중으로 보와 슬래브가 붕괴되며 성토된 토사가 지하층으로 유입되면서 건물이 전도된 것으로 분석되었다.

(5) 붕괴사고 요인분석

해체공사 중 붕괴사고의 원인분석 결과를 바탕으로 위험성평가 체크리스트 개발을 위한 기초자료로 쏘단계 및 쏘부문(부서)에 걸쳐 나타난 붕괴사고의 위험요인에 대한 검토결과를 정리하면 <표 III-12>와 같다.

〈표 III-12〉 해체공사 중 붕괴사고의 업무단계별 위험요인 검토결과

| 구분 | | 검토결과 | |
|--------|---------|------------|--|
| 착공전 | 발주 및 설계 | 공사분류 | 해체공사로 적정하게 분류 |
| | | 도서확인 | 구조도 등 설계도서 확보 |
| | | 현장조사 | 설계도서와 실제 구조물과 일치 여부 확인 미흡 |
| | | 해체공법 선정 | 현장조사 결과 반영 미흡 등으로 불안정한 작업방법 선정 |
| | | 구조검토 | 구조안전성 검토 미 실시 |
| | | 해체계획서 | 현장 여건과 실시공을 고려하지 않은 일반적인 해체계획서 작성 |
| | | 계획서 검토 | 형식적 실시 |
| | 인·허가 | 신고·허가 | 해체공사 허가신청 |
| | | 현장점검 (필요시) | 미 실시 |
| | | 신청서 검토 | 검토 미흡 |
| 신고·허가서 | | 발급 | |
| 감리지정 | | 지정 | |
| 착공후 | 감리 | 계획서검토 | 형식적 실시 |
| | | 시공감리 | 해체공법, 구조보강, 실시공 가능성 등의 적정성 검토 및 관리 부실 |
| | 시공 | 설계변경 | 해체공법 변경 시 구조안전성 검토 미 실시 |
| | | 외부비계 | 벽이음 설치 간격, 수직보호망, 작업발판 및 안전난간 등 안전기준 준수 여부 확인 불가 |
| | | 구조보강 | 성토 구간에 사전 구조검토를 실시하지 않았고, 잭 서포트 등 구조보강 미 실시 |
| | | 사용장비 | 해체계획서에 검토된 해체장비의 제원 일치 여부 미확인 |
| | | 해체순서 | 해체순서 미 준수 |
| | | 잔재물 반출 | 해체 잔재물을 성토체로 사용하여 구조 안전성 약화 |
| | | 성토체 | 지상에 성토체 조성 전 구조안전성 미검토 및 구조보강 미 실시 |
| | | 출입통제 | 도로인접 작업 시 감시원을 배치하였으나, 버스 정류장이설 미 실시 |

(6) 해체공사 관련 기존의 절차서 등 비교검토

해체공사 중 붕괴사고와 관련하여 기존에 개발된 해체공사 체크리스트 및 절차서를 수집하여 검토하였다. 안전보건공단의 경우 작업순서별 안전작업절차를 개발하였고, 서울시는 감리자의 현장점검 체크리스트를 개발하였으며, 국토안전관리원은 해체계획서 작성 시 자가점검표를 개발하였다. <표 Ⅲ-13>은 안전보건공단과 서울시 자료를 분석한 것이고 그 분석 결과는 <표 Ⅲ-14>와 같다.

가) 안전보건공단(작업순서 중심)

안전보건공단(2021년)에서는 작업진행 순서에 따른 안전작업 절차서, 해체공법별 안전관리 중점 사항과 해체공사 전 사전조사의 일반사항을 제시하였는데, 주로 산업안전보건법에 따른 내용을 반영하고 있다. 또한, 해체공사 중대재해 사례를 제시하였는데, 그 중 광주 학동 붕괴사고와 유사하게 올바르게 않은 해체공법 및 순서(상부에서 하부가 아닌 하부에서 상부 순으로 해체 등)로 인해 발생한 붕괴사고 2건을 추가로 확인할 수 있다.

나) 서울시(감리자 중심)

서울시(2019년)에 따르면, 철거심의를 받고 감리자가 있음에도 철거계획서와 다르게 시공, 임의공법 변경 등 현장 안전관리 미흡 사례가 반복적으로 지적되고 있어 해체공사의 안전 사각지대 해소를 위해 담당공무원(허가권자)의 전문성을 제고하고 감리자가 현장 점검에서 즉시 활용할 수 있는 체크리스트를 개발하였다. 체크리스트의 점검 항목은 해체계획서의 검토와 현장점검 내용으로 구성되어 있다.

다) 국토안전관리원(해체계획서 작성 중심)

국토안전관리원(2021년)에 따르면, 건축물관리법에 따라 건축물을 해체

하려는 경우 허가권자의 허가를 받아야 하는데, 허가권자는 해체공사 중 사고의 발생 우려가 있는 일부 건축물의 해체계획서에 대한 검토를 국토안전관리원에 의뢰하도록 되어있다. 국토안전관리원에 접수된 해체계획서를 검토하는 과정에 작성 기준에 부적합한 사례가 반복적으로 발생됨에 따라 해체계획서를 작성하는 건설업체의 기술능력 향상을 위해 해체계획서 검토 결과 보완 사례를 제시하고 해체계획서 자가점검표를 개발하였다.

〈표 III-13〉 해체공사 관련 기존의 절차서 및 체크리스트 개발 사례

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|------------------|------------------|--------|------------------|-----------------------------|-------|----------------|----------------|-----------|-------------------|-----------------------|------|--------------------|--|-------------|--|------|-------------|---|------|-----------|--|------|-------------|--|------|------------|--|------|------------|--|------|----------|------------------------------|------|---------|---|------|---------|--|------|-------------|---|------|--------|--|--|-----------|--|--|
| <p>사전조사</p> <ul style="list-style-type: none"> 해체대상 구조물 조사 <ul style="list-style-type: none"> 건축물 준공 시 설계도서, 공사기록 구조의 특성, 치수, 층수, 건물높이, 기준층면적, 연면적 구조물 폭, 층고, 슬래브, 거더, 벽체, 기둥 등 부재 배치상태 부차사항 및 환경조사 <ul style="list-style-type: none"> 부지 내 공자유구, 해체용 기계 또는 장비의 작업공간, 해체를 임시 보관장소 철거, 이설, 보호할 필요가 있는 공사 현장 주변 매설물 주변 건축물, 건축물의 용도 및 거주자 현황 <p>↓</p> <p>해체공법선정</p> <ul style="list-style-type: none"> 구조물의 구조규모, 입지조건, 해체공사의 특성 등 고려 해체공법에 따른 작업위치 및 해체장비를 감안하여 안전한 작업순서 및 작업방법 고려 해체공사 전 공사시간 및 예산, 구조물의 주변상황 고려 건설 부산물의 재이용 촉진 및 폐기물 발생 억제 공사기간, 시공성, 안전성, 경제성, 공해 등에 대한 법적규제 및 주변 현황 검토 <p>↓</p> <p>해체 구조물 안전성 검토</p> <ul style="list-style-type: none"> 해체 대상 구조물 등의 구조부재 상태 조사 사용된 구조재료, 설계시의 구조시스템, 시공방법 구조부재에 대한 손상과 내력저하의 정도 해체작업에 의한 연속부재의 붕괴 가능성 구조벽, 철근콘크리트벽, 조적벽, 내력벽의 특성 해체작업 시 영향을 받을 수 있는 인접한 도로, 자판, 구조물 등의 안전에 관한 사항 고려 인접건물 및 분리벽과 같은 시설에 보강재가 필요한 경우 보강재에 대한 구조계산 <p>↓</p> <p>공해방지 및 부산물 처리계획</p> <ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동, 분진 등 고려 소음이 기준치 초과 시 해체공법 변경, 해체작업 순서 변경, 방음시설 등 소음저감대책 강구 분진이 발생 시 실수, 방진 시설의 변경, 해체작업 순서 변경, 해체공법의 변경 건설 부산물 처리 <ul style="list-style-type: none"> 건설부산물의 하역과 현장내의 반출 및 차폐장까지의 수송시간 충분히 검토 반출하는 운반차는 건설부산물의 중량, 형상, 안정성 고려 <p>↓</p> <p>해체 작업계획서 작성</p> <ul style="list-style-type: none"> 붕괴, 전도, 화재·폭발 및 추락, 낙하 위험 중심으로 작성 해체 작업 계획서도에 안전보건규칙의 중량을 위급작업 및 차량계 건설 기계, 양장비, 비계 및 작업발판류, 관련 핵심 준수사항과 기타 기술적인 관리요소 작성 <p>↓</p> <p>철거-해체</p> <ul style="list-style-type: none"> 전도 위치와 파편 비산거리 등 예측하여 작업 변경 설정 해체 구조물 외곽에 방호용 울타리 설치 및 해체물의 전도·낙하·비산에 대비하여 안전차단 유지 해체공법의 특성에 따라 방진벽, 비산차단벽 및 분진연계 살수시설 설치 작업자 상호간 신호규정을 준수, 신호장치 및 신호기기 사용법 사전 숙지 | <table border="1"> <tr> <td>신규 및 위험성평가</td> <td>중소 중요도 중요성</td> <td>합성일시 소속 직급</td> </tr> <tr> <td>건축물 정보</td> <td>연면적 구조 주 소</td> <td>담당 책임자 직급 직급 직급</td> </tr> <tr> <td>해체 계획</td> <td>해체 기간 해체 시공</td> <td>일정 일고 일고</td> </tr> <tr> <td>건축 관계자 정보</td> <td>소유자 시공사 감리사</td> <td>해체계획서 작성자 성명 성명</td> </tr> <tr> <td>점검항목</td> <td colspan="2">해체계획서 검토 및 현장점검 내용</td> </tr> <tr> <td>1. 건축 및 구조물</td> <td>· 건축도면 [] 일률 [] 일률 · 구조도면 [] 일률 [] 일률</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>2. 해체계획서 확인</td> <td>· 해체대상사항 [] 일률 [] 일률 · 구조도면 비교 [] 일률 [] 일률</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>3. 계약서 확인</td> <td>· 해체계획서 계약서 [] 일률 [] 일률 · 임대조건서 계약서 [] 일률 [] 일률</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>4. 해체계획서 검토</td> <td>· 가설 계획(벽체, 천정, 연면적, CCTV등) · 안전장치 운영 및 이동계획, 열공구(특수보호장비) · 안전용 보호장비(Head Open 및 저충격) · 해당사항 및 구조물 현황조사</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>5. 안전요소 검토</td> <td>· 구조물의 하중, 연속 및 계층 등의 하중, 현상조사 결과 등(타면) · 안전요소 평가 후 부</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>6. 주변 환경조사</td> <td>· 인접건물 하중 반 작용을 위한 도로시방 및 인접건물 · 환경영향조사 기준치 범위 조사 등 · 환경, 가스, 수, 음향선 제발 등 인접건물 용무 확인</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>7. 안전 장비</td> <td>· 가라비저트(수동/자동) [] 일률 [] 일률</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>8. 기술인력</td> <td>· 운영 기술인력, 장비 안전관리, 사용자 교육 및 현장 점검 · 운영 기술인력 [] 일률 [] 일률</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>9. 안전장비</td> <td>· 안전장치 설치(안전장치, 안전장치, 수평 차폐막 등) · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>10. 안전장비 관리</td> <td>· 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획</td> <td>점검결과</td> </tr> <tr> <td>종합점검결과</td> <td colspan="2"> <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 중립 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 </td> </tr> <tr> <td>의견 및 특기사항</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table> | 신규 및 위험성평가 | 중소 중요도 중요성 | 합성일시 소속 직급 | 건축물 정보 | 연면적 구조 주 소 | 담당 책임자 직급 직급 직급 | 해체 계획 | 해체 기간 해체 시공 | 일정 일고 일고 | 건축 관계자 정보 | 소유자 시공사 감리사 | 해체계획서 작성자 성명 성명 | 점검항목 | 해체계획서 검토 및 현장점검 내용 | | 1. 건축 및 구조물 | · 건축도면 [] 일률 [] 일률 · 구조도면 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | 2. 해체계획서 확인 | · 해체대상사항 [] 일률 [] 일률 · 구조도면 비교 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | 3. 계약서 확인 | · 해체계획서 계약서 [] 일률 [] 일률 · 임대조건서 계약서 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | 4. 해체계획서 검토 | · 가설 계획(벽체, 천정, 연면적, CCTV등) · 안전장치 운영 및 이동계획, 열공구(특수보호장비) · 안전용 보호장비(Head Open 및 저충격) · 해당사항 및 구조물 현황조사 | 점검결과 | 5. 안전요소 검토 | · 구조물의 하중, 연속 및 계층 등의 하중, 현상조사 결과 등(타면) · 안전요소 평가 후 부 | 점검결과 | 6. 주변 환경조사 | · 인접건물 하중 반 작용을 위한 도로시방 및 인접건물 · 환경영향조사 기준치 범위 조사 등 · 환경, 가스, 수, 음향선 제발 등 인접건물 용무 확인 | 점검결과 | 7. 안전 장비 | · 가라비저트(수동/자동) [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | 8. 기술인력 | · 운영 기술인력, 장비 안전관리, 사용자 교육 및 현장 점검 · 운영 기술인력 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | 9. 안전장비 | · 안전장치 설치(안전장치, 안전장치, 수평 차폐막 등) · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 | 점검결과 | 10. 안전장비 관리 | · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 | 점검결과 | 종합점검결과 | <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 중립 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 | | 의견 및 특기사항 | | |
| 신규 및 위험성평가 | 중소 중요도 중요성 | 합성일시 소속 직급 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 건축물 정보 | 연면적 구조 주 소 | 담당 책임자 직급 직급 직급 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 해체 계획 | 해체 기간 해체 시공 | 일정 일고 일고 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 건축 관계자 정보 | 소유자 시공사 감리사 | 해체계획서 작성자 성명 성명 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 점검항목 | 해체계획서 검토 및 현장점검 내용 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 건축 및 구조물 | · 건축도면 [] 일률 [] 일률 · 구조도면 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 해체계획서 확인 | · 해체대상사항 [] 일률 [] 일률 · 구조도면 비교 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 계약서 확인 | · 해체계획서 계약서 [] 일률 [] 일률 · 임대조건서 계약서 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 해체계획서 검토 | · 가설 계획(벽체, 천정, 연면적, CCTV등) · 안전장치 운영 및 이동계획, 열공구(특수보호장비) · 안전용 보호장비(Head Open 및 저충격) · 해당사항 및 구조물 현황조사 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. 안전요소 검토 | · 구조물의 하중, 연속 및 계층 등의 하중, 현상조사 결과 등(타면) · 안전요소 평가 후 부 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. 주변 환경조사 | · 인접건물 하중 반 작용을 위한 도로시방 및 인접건물 · 환경영향조사 기준치 범위 조사 등 · 환경, 가스, 수, 음향선 제발 등 인접건물 용무 확인 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. 안전 장비 | · 가라비저트(수동/자동) [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. 기술인력 | · 운영 기술인력, 장비 안전관리, 사용자 교육 및 현장 점검 · 운영 기술인력 [] 일률 [] 일률 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. 안전장비 | · 안전장치 설치(안전장치, 안전장치, 수평 차폐막 등) · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. 안전장비 관리 | · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 · 안전장치 운영 및 이동 계획 | 점검결과 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 종합점검결과 | <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 중립 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 <input type="checkbox"/> 불합 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 의견 및 특기사항 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>안전보건공단. 2021.</p> | <p>서울시. 2019.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

〈표 Ⅲ-14〉 기존 절차서 등의 붕괴사고 예방 주요 점검항목 분석 결과

| 구분 | 안전보건공단 | 서울시 | |
|--------------------|---------------------------------------|---|--|
| 착공 전 | 도서확인 | 건축물 준공 시 설계도서, 공사기록 등 | 건축 및 구조도면 |
| | 현장조사 | 해체용 기계 또는 장비의 작업 공간, 현장 주변 매설물, 주변 건축물 등 | 구조물 증축 및 개축 이력 등 |
| | 해체공법 선정 | 구조물의 구조·규모, 입지조건과 공사기간, 시공성, 안전성, 경제성 및 주변현황 고려 | - |
| | 구조검토 | 해체구조물의 구조부재 상태 고려 | 해체계획서 상 구조검토 보고서 확인 |
| | | 인접한 도로·지반·구조물 등의 안전 고려 | |
| | | 보강재에 대한 구조계산 등 | |
| 해체계획서 검토 | 해체 방법 및 해체 순서 도면 | 가시설 계획 | |
| | 가설·방호설비 등 방법 | 탑재장비 용량 및 이동계획, 잭 서포트 배치 | |
| | 사업장 내 연락방법 | 잔재물 처리계획(적재 높이) | |
| | 해체물 처분계획 | 해체공법 및 구조체 해체순서 | |
| | 해체작업용 기계·기구 등의 작업계획서 | - | |
| | 해체작업용 화약류 등의 사용계획서 등 | - | |
| 착공 후 | 설계변경 | 필요시 전문가 검토 및 지시에 따라 해체순서, 공법 등 변경하여 골조의 안전성 유지 | - |
| | 가설구조물 | 외부비계 해체 시 폭 20cm 이상 작업발판 확보, 안전대 체결, 벽이음 상태 확인 및 순차적 해체 등 | 외부비계 설치·시공 상태 및 고정 유·무 공사용 가설펜스, 보행자 안전통로 유·무 |
| | 해체순서 | 해체계획서 상 해체공법 및 해체순서 준수(기본적으로 상부에서 하부로, 수평부재에서 수직부재로 진행) | 해체계획서 상 해체공법 및 해체순서 준수 |
| | 관리감독자 (현장 점검) | 근로자 특별안전교육 | 탑재장비 용량 및 이동 동선 확인 |
| | | 작업계획서에 따라 작업하도록 지시 | 슬래브 위 해체 잔재물 준치 여부 |
| 골조 및 주요 부재의 안전도 점검 | | 도로사정 및 인근주변 환경 조사 | |
| | 전도 위치와 파편 비산거리 예측하여 작업 반경 설정, 안전거리 유지 | 작업자 및 인접건축물의 안전대책 준수 여부 | |

(7) 관련 전문가 자문의견 분석

해체공사 중 붕괴사고에 대해 사고예방에 도움이 되도록 산업현장 소단체 및 소부문(부서)에서의 역할과 책임을 누락 없이 파악하고자 관련 전문가들의 의견을 모아 분석하였다. 분석 방법으로는 먼저 전문가 의견이 제시된 문헌을 수집·분석하고, 관련 전문가를 직접 만나 해체사고와 관련된 인터뷰를 실시하여 분석된 주요 내용을 종합하여 정리하였다.

가) 문헌조사를 통한 전문가 의견 수집·분석 결과

반복되는 건축물 해체공사 중 붕괴사고 예방을 위하여 2021.11.4. 「해체 산업 선진화를 위한 안전성 강화 정책토론회」가 개최되었다. 이 토론회는 국회 국토교통위원회 간사 송석준 의원이 주최하고 국토일보가 주관하였으며 국토교통부 건축안전과장 등 7명의 전문가가 참석하였다.⁸¹⁾

토론회에서는 단국대학교 전재열교수의 ‘해체공사 선진화를 위한 안전성 및 전문성 강화 방안’이 발표되었고, 이에 대한 주요 내용은 다음과 같다.

◇ 국내 해체산업의 주요 현안

- (사고 분야) 전문성 부족, 형식적 안전기준 및 책임 관리, 전문가 참여 기회의 부족
- (법제도적 관점) 폐기물 분별해체의 의무화에 따른 공사비 변화
- (환경 분야) 저가수주 환경 및 적정 대가기준의 부재
- (기술자격 제도적 관점) 자격기준 부재

◇ 주요 현안에 대한 전문가 설문조사 결과

- 사고의 위험요소 중 저가수주가 원인이라는 의견이 가장 많음
- 전문가들 대부분 저가수주에 의한 공사경험이 있다고 답변

81) 국토일보, 2021.11.8., “[해체산업 정책토론] 해체공사 시스템 확립 시행해야”

- 해체기술자의 필수요소로 실무경험과 전문지식, 안전성 검토에 관한 능력으로 답변
- 전문기술자 인증을 가진 인력의 수급으로 보다 안전한 공사를 진행 할 수 있을 것이라고 답변

◇ 개선방안 제시

- 기술경쟁 및 전문성 강화를 위한 해체기술자격제도 추진
- 재하도급 방지를 위한 해체공사업 분리·신설과 함께 기술자 등록기준 강화
- 해체공사 기술·연구개발의 지속적 투자로 산업적 위상 제고
- 해체안전심의 확대, 감리책임 강화로 해체산업의 전문성·중요성 인식 제고
- 기술경쟁 유도를 위한 친환경인증제도 연관 추진

나) 직접자문을 통한 전문가 의견 수집·분석 결과

〈표 Ⅲ-15〉 전문가 자문의견 주요 내용

| 자문 일자 | 자문 전문가 | 자문 주요 내용 |
|---------|----------------|--|
| 4.27(수) | 안전보건공단 (본부) | <p>〈착공 전 단계〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (사전조사) 해체공사 대상은 대부분 30년 이상 노후화된 건축물 이라 준공도면이 존재하지 않는 경우가 많고, 그러한 경우 현장에서 조적벽체가 내력벽인지 비내력벽인지 구분하기가 어렵다. 대부분의 조적벽체가 비내력벽 이므로 가끔 내력벽을 이리한 비내력벽으로 오인하여 철거하다가 붕괴 할 가능성이 높다. ▶ (허가·신고) 건축물관리법이 강화되었는데 현장 작동성이 제대로 이루어지고 있는지 의문이다. 전문가 검토과정에서 제대로 검토가 이루어지고 있는지도 의문이다. <p>〈착공 후 단계〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (허가·신고) 허가내용 변경 시 변경신고를 하여야 하는데 절차가 생략되는 경우가 많을 것 같다. 개인적으로 판단하면, 허가된 |

| 자문 일자 | 자문 전문가 | 자문 주요 내용 |
|---------|------------------|--|
| | | <p>내용 변경에 대한 타당성이 없다면 변경이 불가능하도록 하는 조치가 필요할 것 같다.</p> <p>▶ (안전관리) 공단에서 해체공사의 착공시기를 바로 확인하여 기술 지도 할 수 있는 방안에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.</p> |
| 4.29(금) | 안전보건공단 (일선기관) | <p>〈착공 전 단계〉</p> <p>▶ (사전조사) 소규모 해체공사의 경우 대부분 사전검토를 하지 않고, 해체 계획서의 기준에 맞게 해체계획서를 작성 할 능력이 없는 것 같다. 공사 규모와 관계없이 동일한 기준의 해체계획서 작성 기준이 적용되는 것에 대하여 개선 여부를 검토 해 볼 필요가 있다.</p> <p>▶ (시공업체) 해체공사는 큰 노하우가 필요한 작업이 아니라고 생각하는 분위기에서 해체공사에 대한 전문 지식이나 기술이 없는 작업자(장비기사)가 작업에 임하는 경우가 많은 것 같다.</p> <p>〈착공 후 단계〉</p> <p>▶ (안전관리) 일반적으로 해체공사는 기존의 노후 건축물의 일부 또는 전부를 철거하여 개축하는 공사이므로 현장에서는 해체공사보다 새로 개축하는 공사에 대한 부분에 초점이 맞춰져 있고, 해체공사를 부수적인 부분으로 여겨 안전관리가 부실하게 이루어지는 것 같다.</p> |
| 5.4(수) | 안전보건공단 (교육원) | <p>〈착공 전 단계〉</p> <p>▶ (공사금액) 적정 공사기간과 공사금액이 보장되지 않는 계약상의 문제, 단단계 하도급에 따른 공사금액 감소로 인한 문제가 있다.</p> <p>▶ (시공업체) 건물 해체업 자체의 구조적 영세성과 안전보건 역량의 문제가 있다.</p> <p>▶ (사전조사) 해체대상 구조물의 사전조사 과정이 미흡하고, 건축물 특성에 따른 적합한 해체공법, 방법 등의 기준을 명확히 할 필요가 있다. 특히, 구조물 위에 장비를 올리거나 지하층이 있는 구조물 앞에 둔턱을 쌓아 해체하는 방법의 경우 전도·붕괴 위험성을 검토 할 필요가 있다.</p> <p>▶ (허가·신고) 해체대상 구조물 안전성 검토 시 구조기술사의 검토 과정을 강화 할 필요가 있다. 건축물관리법에 따른 허가의 주체는 '관리자(건물 소유주)'인 반면, 산업안전보건법에 따라 유해위험 방지계획서를 제출해야 하는 주체는 '시공업체'로 서로 다른 부분이 있다. 용도변경, 리모델링 등의 공사종류에 따라 허가와 신고 대상으로 구분되는데 행정적인 확인절차 없이 사업장의 판단에 따라 공사종류를 구분하여 허가 또는 신고가 이루어지고 있어 공사종류에 따른 허가와 신고대상의 구분이 정확히 이루어지고 있는지 의문이다.</p> |

| 자문 일자 | 자문 전문가 | 자문 주요 내용 |
|---------|---------------|--|
| | | <p><착공 후 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (감리) 해체작업계획과 실제 작업방법의 차이에 따른 조치가 필요하며, 어떻게 조치되고 있는지 확인해 볼 필요가 있다. |
| 5.11(수) | 외부 연구원 | <p><착공 전 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (공사금액) 불공정 하도급과 재하도급으로 인한 적정 비용 및 공기의 보장과 함께 저가수주 근절이 필요하다. 해체공사의 분리 발주가 필요하다고 생각된다. ▶ (전문가) 해체기술자의 인력부족과 전문성 미비로 해체전문가의 인력 양성, 교육 및 기술자격증제도의 도입이 필요하다. ▶ (허가·신고) 현재 지자체마다 해체계획서 매뉴얼과 기준이 상이하다. 인허가에 소요되는 기간이 길어서 초단기 공사인 소규모 해체공사의 경우 인허가 신청 후 허가증 발급 전 불법으로 철거공사를 시작하는 경우가 빈번하다. 이때, 용도변경의 경우 대수선을 포함하고 있더라도 대다수가 대수선이 아닌 용도변경으로 신청을 하고 있는 것이 현실이다. 소규모 해체공사의 경우 해체업체가 직접 해체계획서 작성 후 기술사나 건축사의 도장값만 받고 허가 신청을 하는 경우가 많다보니 해체계획서 내용이 해당 회사와는 적합하지 않은 경우가 많다. 기술사 또는 건축사가 검토한 해체계획서의 신뢰도를 높이기 위해 제3자의 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다. <p><착공 후 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (시공) 실제 해체공사는 장비기사 주도로 이루어지므로 해체계획서가 있더라도 계획서대로 시공이 어려운 것이 현실이다. 장비기사에 대한 교육 및 현장에 출근하는 모든 작업자에 대한 자격교육이 필요하다고 판단된다. ▶ (감리) 해체공사라는 특성상 감리가 현장에 상주하더라도 작업공간 내에 접근하여 적극적인 업무 수행은 하지 않는 것이 현실적이다. |
| 5.11(수) | 대학교 (건축학부) | <p><착공 전 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (공사금액) 저가수주 환경(최저가 낙찰제 등) 및 적정대가 기준의 부재, 반복된 재하도급으로 인한 저가공사로 현장의 사고 위험이 더욱 가중된다. ▶ (전문가) 건축사 중심의 해체공사 계획서 검토 및 감리역할 구조에서 보다 해체, 붕괴예방과 관련하여 전문 지식이 풍부한 구조기술사의 참여를 확대할 필요가 있다. 관련 전문가 양성을 위한 기술자격제도가 미비하다. 일본의 경우 파괴공학과를 별도 지정하고, 해체시공기사 자격시험제도를 운영한다. ▶ (공법선정) 대부분 안전한 공법보다는 비용에 초점을 둔 공법을 선정한다. ▶ (허가·신고) 허가권자의 해체공사의 안전성(해체계획서 등)을 검 |

| 자문 일자 | 자문 전문가 | 자문 주요 내용 |
|--------|----------|---|
| | | <p>토할 수 있는 세부적 기준이 부재하다. 허가·신고대상 구분 시 공사규모 외에 인접 구조물 상황 등이 함께 고려되어야 한다고 생각한다.</p> <p><착공 후 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (시공) 해체 시 정확한 시방서 및 공법이 정형화되어 있지 않아 굴착기 기사에 경험에 의해 공사가 진행되고 있고, 상당 부분 미숙련 경험자에 의한 공사가 진행된다. 비용절감 및 촉박한 공기로 인하여 계획된 안전시설 미설치 및 안전기준 위반이 빈번하다. ▶ (감리) 해체공사 특성을 고려한 구조 안전검토 능력에 대한 전문성이 부족하고 형식적인 감리업무 수행이 만연한 실정이다. |
| 6.2(목) | 해체공사 설계사 | <p><착공 전 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (발주) 재건축·재개발공사 발주 시 일부 발주자(조합)는 해체공사를 수급인(해체공사 전문업체)과 계약 및 권한 위임으로 도급인인 관리 업무에 배제되고 있어 이에 대한 개선이 필요하다. ▶ (설계) 현재 일부 해체계획서는 실제 작업방법 등을 고려하지 않은 일반적인 내용으로 작성되어, 해체계획서 준수가 어려운 실정이므로 현장 여건과 실제 작업방법을 고려한 해체계획서의 설계도서화가 필요하다. 또한 해체계획서를 작성 및 검토할 수 있는 건축사사무소는 진단장비 및 (구조)전문가가 없는 곳이 많으므로 최소 장비 및 인력 기준 마련이 필요하다. ▶ (인·허가) 지자체별 해체공사 인·허가 시 해체계획서의 검토 수준에 차이가 있으므로 인·허가 담당자 업무 매뉴얼 개발 및 정기적인 교육이 요구된다. <p><착공 후 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ (감리) 해체공사에 대한 전문적인 감리업무 수행을 위한 감리자의 역량 강화를 위해 해체공사 전문 감리자 육성 등에 대한 검토가 필요하다. ▶ (시공) 현재 많은 현장에서는 해체계획서 작성은 서류통과용으로 작성하고 있는 실정이다. 이로 인해 현장에서는 해체계획서에 따라 작업하지 않고, 해체작업자의 경험에 따라 보강이 미흡한 상태로 잔재물 과적 등으로 붕괴사고가 발생하고 있다. 따라서 해체계획서 작성 시 현장관계자와 작업방법 등에 대해 충분한 논의 후 현장 실정에 맞도록 해체계획서를 작성하되, 시공 및 감리업무의 활용도 향상 및 체계적인 관리감독을 위해 설계도서화(설계도면 포함)가 필요하다. |

다) 해체공사의 붕괴사고 문제점

〈표 Ⅲ-16〉 해체공사 붕괴사고 문제점

| 구분 | | 문제점 | |
|------|--------|---------|--|
| 시공 전 | 계약 | 도급 | <ul style="list-style-type: none"> • 적정 공사금액과 공사기간에 대한 기준 부재로 저가수주와 돌 관 작업으로 안전절차 생략 • 불법 재하도급에 따른 저가공사로 안전관리에 취약 |
| | | 감리 | <ul style="list-style-type: none"> • 발주자(조합)의 감리업무 계약 시 해체작업자로 도급인이 아닌 수급인을 명시하여 계약단계에서 시공관리 체계의 혼선 발생으로 도급인의 안전관리 업무 배제 |
| | 현장조사 | 현장 확인 | <ul style="list-style-type: none"> • 설계도서와 실제 구조물과의 일치 여부 확인 미흡 • 버스정류장 등 다중이용교통시설에 대한 현장조사 미흡 및 결과 미반영 |
| | | 강도 측정 | <ul style="list-style-type: none"> • 비파괴 검사 시 비내력벽을 대상으로 실시하는 등 형식적 실시 |
| | 해체 계획서 | 작성 | <ul style="list-style-type: none"> • 미흡한 현장조사 결과로 해체계획서를 부실하게 작성 • 해체계획서 작성 시 해당 분야 (구조)전문가 미참여 • 해체구조물의 해체단계별 구조안전성 검토 미실시 • 구조물 해체 시 전도 및 붕괴 등 사고예방 대책 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 구조물 하부 잭 서포트 등 구조보강 계획 - 해체작업 방법 및 순서 등 현장 여건에 맞는 계획 - 주요 공종별 필수확인점⁸²⁾이 표기된 안전점검표 - 구조물 해체 시 버스정류장 등 다중이용 교통시설에 대한 이설, 폐쇄 등의 안전대책 |
| | | 검토 및 보완 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 내용 검토 일부 누락 및 부적정 사항 보완 확인 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 해체계획서의 작성 및 감리업무 등에 관한 기준에 따른 구조안전성, 붕괴 방지 대책 등 중요사항* 검토 미흡 * 해체방식과 순서, 잭 서포트 보강, 해체장비의 적정성 등 - 검토결과 부적정 사항에 대한 보완 여부 미확인 |
| | 인허가 | 검토 및 지도 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체공사 허가 시 중요사항 검토 및 지도 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 도급인의 의무 부과, 해체계획서 내용 보완, 현장 외부사고 안전대책 수립 지도 등 |

82) 공사의 수행 과정에서 감리자의 입회점검 및 서면 승인 없이는 다음 단계의 공정으로 진행할 수 없는 '공사 중지점'을 말한다.

| 구분 | | 문제점 | |
|------|-------|-------------|---|
| 시공 중 | 감리 | 검토 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체공사 전 해체계획서의 적정성 검토 미흡 및 보완 요청 미실시 <ul style="list-style-type: none"> - 해체계획서의 현장조사 결과 반영 여부 - 현장 여건을 고려한 해체순서 및 방법 등 설계도서의 적정성 - 성토체 형성에 따른 연직토압 및 편토압 등을 고려한 구조안전 - 구조물 하부 잭 서포트 등 보강 여부 - 감리자 입회점검을 위한 '필수확인점'의 적정성 |
| | | 현장확인 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체공사의 안전확보를 위한 필수확인점에 대한 입회점검 미실시 • 해체계획서의 작업방법에 대한 변경 여부 미확인 |
| 시공 중 | 시공 | 설계변경 | <ul style="list-style-type: none"> • (감리 - 도급인) 해체공법 변경 시 사전 감리자에게 보고하여 변경의 적합성 등을 검토·확인받아야하나 임의로 작업방법 변경 • (도급인-수급인) 변경 협의된 해체방식은 기 작성된 특기시방서 내용과 상이하였으나, 별도의 검토 또는 승인 절차 없이 임의로 작업방법 변경 <ul style="list-style-type: none"> ※ 특기시방서에는 해체작업 시 상부에서 하부로 단계적으로 실시하고, 매 층별 해체물을 신속하게 처리하도록 하고 있으나, 해체물(잔재물)을 성토층으로 사용하여 해체 구조물의 붕괴 유발 |
| | | 시공관리 및 안전관리 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체작업자 대상 안전한 해체순서 및 작업방법 등에 대한 안전 교육 미흡 • 해체계획서 상의 해체순서 및 작업방법(압쇄기를 이용하여 상부층 → 하부층 단계별 해체)과 달리 지하층에 잔재물을 채워 넣는 작업방법에 대한 적정성 미검토 • 지하층에 잔재물을 채워 넣고, 구조체 상부에 성토체를 형성하는 등 초과하중 및 편토압 발생으로 구조물 전도 및 붕괴 <ul style="list-style-type: none"> - 작업방법 변경에 따른 구조안전성 검토 미실시 및 잭 서포트 등 구조 보강 미실시 - 성토체 하부 잔재물 채움 불량 및 일부 공동 발생으로 상재하중 등에 대해 구조적으로 취약 • 해체방법 미준수 및 구조보강 미흡에 따른 개선조치 등 관리감독 소홀 • 해체구간에 인접한 버스정류장 등 다중이용 교통시설에 대한 이설 또는 폐쇄, 우회도로 설치 등의 조치 미실시 |
| 기타 | 전문 역량 | 전문성 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 작성자 및 검토자의 전문성 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 구조안전성에 대한 검토 능력 부족 등 <ul style="list-style-type: none"> ※ 해체계획서의 작성의무 항목(82개) 중 80.5%(66개) 부적합, 부적합 항목 중 92.4%(61개) 누락 • 해체공사 참여자*의 작업안전성 확보 등에 대한 안전관리 역량 부족 <ul style="list-style-type: none"> * 감리자, 현장소장, 관리감독자, 안전관리자, 해체공 |

(8) 해체공사용 체크리스트 제안

해체공사에 대한 선행연구, 공개된 재해조사의견서, 이미 개발된 절차서 및 체크리스트, 각계 전문가 의견을 종합하여 해체공사 중 사고예방을 위해 전체 단계 및 전체 업무 영역에 걸쳐 요구되는 핵심 역할에 중점을 둔 체크리스트를 <표 III-17>과 같이 제안한다.

<표 III-17> 해체공사 붕괴사고 예방 체크리스트

| 구분 | | 항목 | 평가자 |
|------|---------|--|---------------|
| 착공 전 | 계약 | 공사비와 공사기간의 적정 여부 확인 | 도급인, 수급인, 감리자 |
| | | 해체공사 계약서에 해체작업자로 도급인 명시 여부 확인 | 발주자, 도급인, 감리자 |
| | | 감리계약은 발주자(건축주)와 체결하는지 여부 | 발주자, 감리자 |
| | | 불법 재하도급 여부 확인 | 발주자, 도급인, 감리자 |
| | | 시공업체의 해체 작업 및 안전관리 능력의 적정 여부 확인 | 발주자, 도급인, 감리자 |
| | 해체공사 구분 | <input type="checkbox"/> 대수선공사 ⁸³⁾ (주요 구조부 해체) <input type="checkbox"/> 용도변경 ⁸⁴⁾ (주요 구조부 미해체) | 발주자, 도급인, 감리자 |

83) 기둥, 보, 내력벽 등 주요구조나 외부 형태를 수선·변경하는 공사로 구조안전 확인 필요(구조도 및 구조계산서 첨부)

84) 건물의 주요 구조부 변경 없이 인테리어 공사 등을 통해 사용 용도 변경(전문적인 구조안전검토 불필요)

85) ① 건축법에 따른 주요 구조부의 해체를 수반하지 아니하고, 건축물의 일부를 해체하는 경우

② 다음 건축물 전체를 해체하는 경우

- 연면적 500m² 미만의 건축물
- 건축물의 높이가 12m 미만인 건축물
- 지상층과 지상층을 포함하여 3개층 이하인 건축물
- 그 밖에 대통령령으로 정하는 건축물을 해체하는 경우
 - 건축법 제14조제1항제1호 또는 제3호에 따른 건축물
 - 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 따른 관리지역, 농림지역 또는 자연환경보전지역에 있는 높이 12m 미만인 건축물
 - 그 밖에 시·군·구 조례로 정하는 건축물

86) 신고대상 건축물에 해당되지 않는 모든 건축물

| 구분 | 항목 | 평가자 | |
|--|--------------------------|--|-------------------------|
| 착공 전 | 도서검토 | 해체대상 건축물의 건축 및 구조도 등 설계도서 유무 확인 | 발주자, 설계자, 도급인 |
| | 현장조사 | (설계도서 있음) 설계도서와 실제 구조물과 일치 여부 확인 | 발주자, 설계자 |
| | | (설계도서 없음) 현장조사 실시결과에 따라 설계도면 작성 | |
| | 해체공법 | 사전조사와 현장조사 결과를 반영한 적정 해체공법 선정 여부 | 설계자, 전문가, 도급인 |
| | 구조검토 | 구조전문가에 의한 구조안전성 평가 | 설계자, 전문가 |
| | | - 작업순서를 고려한 구조보강 계획(잭 서포트/H형강 등 보강도면) - 안전점검표 및 구조안전성 검토 보고서 | |
| | 해체 계획서 | 현장조사 결과를 반영한 해체 계획서 작성 여부 확인(해체순서, 보강방법 등 도면화 포함) | 발주자, 설계자, 전문가 |
| | | 해체 계획서 작성·검토(관계법령에 따라 작성 후 유자격자 서명 날인) - 작성자: 구조기술사, 검토자: 다른 구조기술사 - 적정 인력, 시설, 구조검토프로그램 확보 여부 확인 | 발주자, 설계자, 전문가, 도급인, 감리자 |
| | 허가 또는 신고 | 신고/허가 대상 여부 확인 (<input type="checkbox"/> 신고 대상 ⁸⁵) <input type="checkbox"/> 허가 대상 ⁸⁶) | 발주자, 도급인, 인허가자 |
| | | (공통) (구조)전문가 검토를 받은 해체계획서 유무 확인 | |
| (대수선 공사) 구조안전성 검토 대상이므로 구조도 및 구조계산서 첨부 여부 확인 | | | |
| (착공신고를 한 경우) 허가권자의 현장점검 적정 여부 확인 | | | |
| | 감리자 지정 여부 확인(자격, 교육이수 등) | 인허가자 | |
| 착공 후 | 감리 | 해체계획서 검토(해체공법, 구조보강, 실시공 가능성 등의 적정성) | 감리자 |
| | | 해체공법 변경 여부 및 적정성 확인 | |
| | | 필수확인점에 대한 입회점검 실시 | |
| | | 해체계획서 및 설계도서에 따른 해체순서, 보강, 잔재물의 신속한 반출, 교통안전, 추락 및 낙하방지대책 등의 감리업무 | |

| 구분 | 항목 | 평가자 | |
|---------------------------------|---|--|---------------|
| 착공 후 | 안전교육 | 해체공사 참여자(감리자, 현장소장, 관리감독자, 안전관리자)에 대한 작업안전성 확보를 위한 안전관리 역량 강화 교육 | 도급인, 감리자 |
| | | 작업자 대상 안전한 해체순서 및 작업방법 등 해체계획서에 대한 안전교육 실시 여부 | |
| | 외부비계 | 외부 비계 적정 설치 여부 | 도급인, 수급인, 감리자 |
| | | - 벽이음 설치 간격(가로 5m이내, 세로 5m 이내) | |
| | | - 수직보호망 | |
| | | - 작업발판 및 안전난간 - 기타() | |
| | 리모델링 (대수선) | 구조안전성 검토 결과에 따른 구조보강 도면 확인 | 도급인, 수급인, 감리자 |
| | | 구조부재 해체 전 H빔 등으로 사전 보강 여부 | |
| | 장비 탑재공법 | 해체계획서에 검토된 해체장비 하중 등 확인 | 도급인, 수급인, 감리자 |
| | | 해체구간 잭서포트 설치 가능 여부 확인 및 조립도 준수 여부 | |
| | | 해체작업층 하부 최소 3개층 이상 잭서포트 설치 여부 | |
| | | 슬래브 위 해체 잔재물 즉시 반출 여부 확인(최대 40cm 이내) | |
| 성토체 형성공법 | 성토체 형성에 따른 연직토압 및 편토압 등을 고려한 해체구조물의 구조안전성 검토 여부 | 도급인, 수급인, 감리자 | |
| | 지하층이 있는 경우 토사를 밀실히 채우고 다짐을 하거나, 잭서포트 등의 구조보강 여부 | | |
| | 해체 장비의 붐길이 등 장비의 적정성 확인 | | |
| 장비 | 현장 반입 전 압쇄기의 붐길이 등 적정 여부 확인 | 도급인, 수급인, 감리자 | |
| | 해체계획서에서 검토된 해체장비의 제원 등 일치 여부 | | |
| | 해체장비의 중량 등을 고려한 인양장비의 양중 능력 확인 | | |
| 해체순서 | 구조체 해체 시 해체계획서의 작업순서 준수 여부 (예시 : 사전 보강 후 윗층→아래층, 슬래브→보→벽체→기둥 순) | 도급인, 수급인, 감리자 | |
| | 벽체 2개층 이상 동시 해체 등에 따른 붕괴 위험 여부 | | |
| 잔재물 반출 | 해체 잔재물 반출을 위한 개구부의 안전조치 여부 | 도급인, 수급인, 감리자 | |
| 구조물(슬래브) 위 잔재물 과다 적재, 지속적 존치 여부 | | | |

| 구분 | | 항목 | 평가자 |
|---------|------|--|---------------|
| 착공 후 | 출입통제 | 도로인접 작업 시 구조물의 전도 등에 의한 사고 예방을 위한 감시원 배치 및 출입통제(안전펜스 등) 여부 | 도급인, 수급인, 감리자 |
| | | 구조물 해체 시 위험반경 내 버스정류장 이설 등 안전조치 여부 | |

시스템적 접근방식의 분석

건축물 해체 중 발생한 붕괴사고와 관련하여 국토교통부 중앙건축물사고 조사위원회에서 공개한 보고서를 중심으로 STAMP-CAST방법을 이용한 시스템적 사고 분석을 수행하였고, 그 결과에 따라 해체작업 시 평가 할 목록(체크리스트)을 제시하였다.

(1) 시스템 제어 구조

[그림 III-5]에는 사고가 발생한 해체공사 관련 제어 구조를 나타냈다. 해체공사 관련 제어 구조는 건축물관리법 등 관련 법률, 해체계획서 작성자, 해체계획서 검토자, 해체공사 허가권자, 해체공사 관리자/발주자, 해체공사 도급인(원수급인), 해체공사 감리자, 해체공사 하수급인, 해체공사 재하수급인, 해체공사 관리자, 해체공사 작업자, 해체공정 등으로 구성되어 있다. <표 III-18>에는 시스템 구성요소를 표로 나타냈다. 석면 해체공사자는 해체공사 하수급인과 이면계약을 통해 비공식적으로 해체업무를 수행하였기 때문에 점선으로 표시하였고, 실제로 진행되지 않은 업무도 점선으로 표시하였다.

건축물의 해체공정에서는 해체공사 재하수급인의 작업자들이 기계·설비를 이용하여 작업을 수행하며, 물리적인 해체공정은 가시설 설치, 건물 내부 해체작업, 건축물 해체작업, 폐기물 집토 및 반출 등으로 이루어져 있다.

사고는 재하수급인의 작업자들이 건축물을 해체하던 중에 발생하였다.

〈표 Ⅲ-18〉 건축물 해체공사 관련 시스템 구성요소

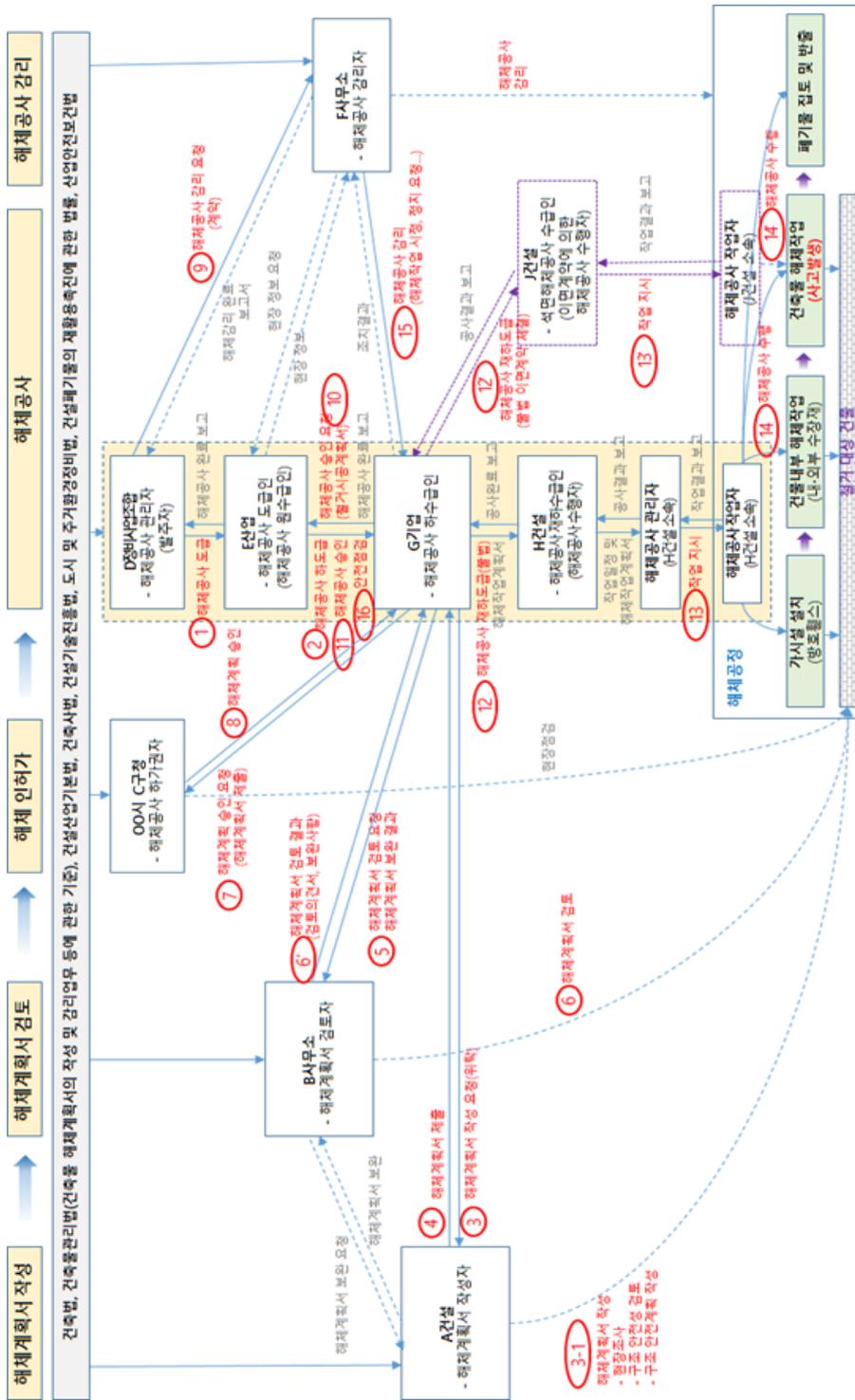
| 연번 | 시스템 구성요소명 | 구분 |
|----|-----------------------------|---------|
| 1 | 건축법, 건축물관리법, 산업안전보건법 등 관련 법 | - |
| 2 | 해체계획서 작성자 | A건설 |
| 3 | 해체계획서 검토자 | B사무소 |
| 4 | 해체공사 허가권자 | C구청 |
| 5 | 해체공사 관리자(발주자) | D정비사업조합 |
| 6 | 해체공사 도급인(원수급인) | E산업 |
| 7 | 해체공사 감리자 | F사무소 |
| 8 | 해체공사 하수급인 | G기업 |
| 9 | 해체공사 재하수급인 | H건설 |
| 10 | 해체공사 관리자(H건설 소속) | H건설 |
| 11 | 해체공사 작업자(H건설 소속) | H건설 |
| 12 | 석면해체공사 수급인 | J건설 |
| 13 | 해체공정 및 철거대상 건물 | - |

(2) 업무 흐름

건축물의 해체공사는 해체업체가 해체계획서를 작성하고 전문업체에서 작성된 해체계획서를 검토 받은 후 그 결과를 인허가자(시·군·구청장)에게 제출하여 승인을 받은 후에 이루어진다. 그리고 별도의 감리자를 선임하여 해체공사에 대한 감리를 진행한다. 건축물 해체와 관련된 세부 업무흐름은 [그림 Ⅲ-5]에 해당 업무에 따라 숫자로 표기하였고, 〈표 Ⅲ-19〉에 세부내용을 기술하였다.

(3) 시스템 구성요소별 사고 원인 요소

[그림 III-6]에는 시스템의 각 구성요소별로 안전책임, 결정 오류, 결정 배경, 결함 등을 분석하고 정리하여 제시하였다. 재하수급인의 관리자와 작업자는 별도로 구분하지 않고 재하수급인으로 통합하여 제시하였다.



[그림 III-5] 건축물 해체공사 관련 시스템 제어 구조도

〈표 III-19〉 건축물 해체공사 관련 업무 흐름

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|------------------------|--|
| 1 | 해체공사 도급 | 해체공사 발주자(D정비사업조합) → 해체공사 도급인(원수급인)(E산업) |
| 2 | 해체공사 하도급 | 해체공사 원수급인(E산업) → 해체공사 하수급인(G기업) |
| 3 | 해체계획서 작성 요청 | 해체공사 하수급인(G기업) → 해체계획서 작성자(A건설) |
| 4 | 해체계획서 작성 | 해체계획서 작성자(A건설) |
| | 해체계획서 제출 | 해체계획서 작성자(A건설) → 해체공사 하수급인(G기업) |
| 5 | 해체계획서 검토 요청 | 해체공사 하수급인(G기업) → 해체계획서 검토자(B사무소) |
| 6 | 해체계획서 검토 | 해체계획서 검토자(B사무소) |
| | 해체계획서 검토결과 제출 | 해체계획서 검토자(B사무소) → 해체공사 하수급인(G기업) |
| 7 | 해체계획서 승인 요청 | 해체공사 하수급인(G기업) → 해체공사 인허가자(C구청) |
| 8 | 해체계획서 검토 | 해체공사 인허가자(C구청) |
| | 해체계획서 검토 결과 송부(해체계획서인) | 해체공사 인허가자(C구청) → 해체공사 하수급인(G기업) |
| 9 | 해체공사 감리 요청 | 해체공사 발주자(D정비사업조합) → 해체공사 감리자(F사무소) |
| 10 | 해체공사 승인 요청 (철거시공계획서) | 해체공사 하수급인(G기업) → 해체공사 원수급인(E산업) |
| 11 | 해체공사 승인 (철거시공계획서) | 해체공사 원수급인(E산업) → 해체공사 하수급인(G기업) |
| 12 | 해체공사 재하도급 (불법) | 해체공사 하수급인(G기업) → 해체공사 재하수급인(H건설) |
| | | 해체공사 하수급인(G기업) → 석면해체 공사자(J건설) |
| 13 | 해체공사 작업지시 | 해체공사 재하수급인(H건설) 관리자 → 작업자 |
| 14 | 해체작업 수행 | 해체공사 재하수급인(H건설) 소속 작업자 |
| 15 | 해체공사 감리 | 해체공사 감리자(F사무소) → 해체공사 하수급인(G기업) (해체공사 감리자 → 원수급인) |
| 16 | 안전점검 | 해체공사 원수급인(E산업) → 해체공사 하수급인(G기업) |

(4) 업무 흐름에 따른 문제점

건축물 해체 공사의 도급부터 실제 해체작업 수행까지 업무가 진행되는 과정에서 드러난 문제점을 분석하여 <표 III-20>에 나타냈다. <표 III-19>와 함께 보면 각 문제점이 어느 기관 또는 조직의 문제점인지 확인할 수 있다. 이러한 문제점을 기반으로 건축물 해체업무의 각 진행단계에서 안전보건을 확보하기 위해 평가해야 할 목록을 작성할 수 있다.

(5) 사고예방을 위한 체크리스트 제안

<표 III-21>에는 <표 III-20>에 제시된 문제점을 기반으로 건축물 해체업무의 진행단계별로 평가해야 할 사항과 평가자, 평가시기를 도출하여 나타냈다. 여기서 평가 목록(체크리스트)의 평가자는 여러 기관(담당자)이 될 수 있다.

<표 III-20> 건축물 해체공사 업무 흐름에 따른 문제점

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|---------------|--|
| 1 | 해체공사 도급 | - |
| 2 | 해체공사 하도급 | - |
| 3 | 해체계획서 작성 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 작성 일괄 위임 - 해체업체에 일괄 위임하여 해체계획서를 작성하도록 함 |
| 4 | 해체계획서 작성 및 제출 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 부실 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 현장조사 없이 사진 등으로 부실하게 작성 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 현장조사를 무시하고 사진 등을 기초로 해체계획서를 부실하게 작성함(건축물의 안전도 검사, 해체방법 및 해체순서 등) - 구조안전성 검토 및 구조 안전계획 작성 부적정 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 구조 안전성 검토를 위한 대상물별 강도측정을 위한 비파괴검사를 내력벽 이외의 비내력벽에서 시행함 ◦ 구조안전계획에 있어 구조안전성 검토보고서가 첨부되지 않았으며 또한 이와 관련한 내용으로 작용 하중(고정하중, 장비하중, 잔재하중 등)에 대한 검토와 해당 건축물의 전도 및 붕괴방지 대책 등이 누락됨 ◦ 안전점검표에 주요 공정별(마감재 해체 전, 지붕층 해체 전, |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|------------------------------|---|
| | | <p>중간층 해체 전, 지하층 해체 전 등)로 필수확인점을 표기하여야 하나 안전점검표 자체가 누락되어 필수확인점 또한 작성되지 않음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 안전관리 대책 등 부실 작성 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 작업자 안전관리와 철거현장 주변 안전관리 및 폐기물 처리계획 등이 누락되어 부실하게 작성됨 |
| 5 | 해체계획서 검토 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 검토자 선정 부적정 <ul style="list-style-type: none"> - 이해관계에 있는 자를 검토자로 선정 |
| 6 | 해체계획서 검토 및 검토결과 제출 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 부실 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 검토 관련 규정 미준수 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 부실하게 작성된 해체계획서를 제대로 검토하지 못함 ◦ 해체공사계획서 검토 시 관련 규정을 무시하고 해체공법 등 7개 사항에 대하여 검토하고 적정한 것으로 검토의견서를 발급하여 마치 전체가 적정한 것처럼 오해하도록 함 ◦ 구조안전성검토, 붕괴방지 대책의 검토 및 결과가 없음(제13조 구조안전계획 미준수) • 해체계획서 보완 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 부적정 사항에 대한 보완요구 및 보완 여부 확인 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 검토결과에 따른 부적정 사항에 대하여는 문제점과 보완사항을 문서로 요구하고 보완 여부를 확인 후 검토의견서를 발급하여야 하지만 작성자에게 유선상으로 문제점과 보완요구 사항을 전달하였고, 보완 여부를 확인하지 않고 검토내용에 대하여 적정하다고 검토의견서를 작성함 |
| 7 | 해체계획서 승인 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체 허가 신청 부적정 <ul style="list-style-type: none"> - 해체허가 신청 시 원수급인 배제 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 원수급인(E산업)이 아닌 하수급인(G기업)을 시공사로 기재함 ◦ 원수급인 E산업을 신청서에서 배제함(원수급인의 공사관리 책임감 결여) |
| 8 | 해체계획서 검토 및 검토결과 송부 (해체계획 승인) | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 부실 검토 및 형식적 승인 <ul style="list-style-type: none"> - 해체계획서 검토 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 해체계획서 수리 과정에서 부실하게 작성된 세부 내용에 대한 검토 미흡 - 해체허가 시 안전 관련 사항 안내 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 수리동지서에 현장 내 일반적인 안전 및 소음·비산먼지에 대한 주의사항은 있으나 이외 붕괴, 낙하물 등 현장 외부에서 발생할 수 있는 안전사고 대책 관련 내용이 없음 |
| 9 | 해체공사 감리 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 감리 계약 부적정 <ul style="list-style-type: none"> - 해체공사 원수급인의 관리감독 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 해체허가신청서 및 감리계약서에 도급인(원수급인) E산업을 기 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|-------------------------|---|
| | | <p>재하지 않고 하수급인 G기업을 기재함에 따라 해체공사 감리자와 도급인 간의 업무적 연결고리가 단절됨(감리권한 행사에 문제점 발생)</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ E산업을 감리계약에서 배제함에 따라 시공 관리 체계의 혼선을 초래함 ◦ 원수급인 E산업의 책임 회피 - 감리계약서 작성 부실 ◦ 건축물의 해체공사 감리업무 표준계약조건에서 해체공사계획서에 표기된 "필수확인점"은 감리자가 입회점검을 실시하도록 되어 있으나 계획서상 필수확인점 관련 내용이 없음 - 비상주 감리 시행 ◦ 감리 기준을 고려하면 비상주 감리를 의미함 |
| 10 | 해체공사 승인 요청 (철거시공계획서) | <ul style="list-style-type: none"> • 하수급인의 해체공사 승인 절차 미준수 - 철거시공계획을 변경할 경우 E산업에 수정과 개정을 요구하고 완전하게 합의한 후 작업하여야 하나 절차 미준수 |
| 11 | 해체공사 승인 (철거시공계획서) | <ul style="list-style-type: none"> • 원수급인의 해체 공사 관리 부적정 - 철거시공계획서의 검토 및 승인 절차가 무시되거나 형식적으로 이루어짐 - G기업과 공정회의 시 철거 공법을 변경하기로 협의하였으나 변경 협의된 철거 방식은 철거 순서가 기 작성된 해체계획서와 상이하나, 별도의 검토 및 승인 없이 실제 작업에 적용함 - 해체방식의 변경은 대상 건물의 구조적 특성, 외부 인접조건 등을 종합적으로 고려하여 시공 전에 결정하고, 공법을 변경하는 경우 사전에 감리자에게 보고하여 변경의 적합성 등을 검토 및 확인받는 절차를 거쳤어야 하나 이루어지지 않음 |
| 12 | 해체공사 재하도급(불법) | <ul style="list-style-type: none"> • 불법 다단계 하도급으로 안전관리 취약 - 다단계 하도급 시행에 따른 저가공사로 안전관리에 취약한 구조 ◦ 불법 재하도급에 따른 다단계 하도급으로 안전관리에 취약한 구조가 형성됨 ◦ 직접공사비와 인건비 위주의 재하도급 계약에 따라 인건비 절감을 위해 무리하게 공사기간 단축 시도 • 부적정한 작업 일정 단축 - E산업의 일정 보다 2개월 반 이상 단축된 일정을 적용함(E산업의 결정이 반영된 것으로 판단됨) |
| 13 | 해체공사 작업지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 업무절차 무시(철거 공법 변경) - H건설의 작업자를 G기업의 신규 직원으로 위장 |
| 14 | 해체작업 수행 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 및 업무절차 미준수 - 정면 지하층을 토사로 되메우기를 수행하지 않음(되메우기 흔적 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|----------|--|
| | | 미발견) - 작업순서, 구조안전계획, 구조보강계획 미준수 - 구조안전계획, 안전점검표, 구조보강계획 미작성 - 철거장비(구조물 상부 적재 시)에 대한 기존 구조물과의 안전성 검토 후 구조물을 보강하여 공사를 진행토록 하여야 하나 안전성 검토와 구조물 보강 미실시 • 작업방법 부적절 - 철거작업을 상부에서 하부로 진행하지 않음(수직으로 옆면 철거) - 각종 철거작업이 끝나는 층마다 발생물의 처리와 뒷정리까지 신속히 완료해서 아래층 지지대에 과도한 하중이 부담되지 않도록 하여야 하나 아래층 지지대 미설치 상태에서 철거 잔해물 철거장비의 성토층으로 사용하여 아래층 추가 하중으로 작용 |
| 15 | 해체공사 감리 | • 감리 부실 - 해체계획서 검토, 감리업무 계약조건 이행, 건축물관리법 상 감리업무 수행 등이 실행되지 않음 ◦ 안전점검표, 감리업무일지 등 해체감리완료 보고서 관련 감리업무가 실시되지 않고, 관련 서류도 작성되지 않음 ◦ 해체계획서에 맞게 공사하였는지, 변경된 공법이 적용되는지 여부 미확인 ◦ 해체계획서 상 붕괴방지 대책 계획이 부실하였으나 감리 측의 검토와 보완요청이 없었으며 현장확인도 이루어지지 않음(국토교통부 고시에 따른 감리업무 수행 내역 확인 불가) ◦ E산업과 G기업의 관계에서 감리자가 역할을 제대로 수행하지 못함 |
| 16 | 안전점검 | • 안전점검 미실시 - 노사합동 안전점검 미실시 |

〈표 Ⅲ-21〉 건축물 해체공사 안전확보를 위한 업무 흐름별 체크리스트

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|-------------|--|----------------|---------------|
| 1 | 해체공사 도급 | - | - | - |
| 2 | 해체공사 하도급 | • 하수급 사업장에 대한 평가 여부 | 발주자 | 하도급 계약 시 |
| 3 | 해체계획서 작성 요청 | - | - | - |
| 4 | 해체계획서 작성 | • 해체계획서의 적정성 여부 - 공사수행자, 공정 등 해체공사 개요 - 건축설비의 이동, 철거 및 보호 관련 | 해체계획서 작성자 원수급인 | 해체계획서 작성 완료 시 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|--------------------|--|--|---------------|
| | | 사항 - 작업순서, 해체공법, 구조안전계획 - 화재, 공해, 교통, 통로, 낙하물 등 안전대책 - 해체물 처리계획 - 해체공사 후 부지정리 및 인근환경 보수 관련 사항 등 - 공정별 필수확인점 표기 여부 - 해체계획서의 필수확인점 지정의 적정성 여부 • 안전점검표 작성 여부 | 하수급인 | |
| | 해체계획서 제출 | - | - | - |
| 5 | 해체계획서 검토 요청 | • 검토자와 이해관계 존재 여부 | 발주자 | 해체계획서 검토 전 |
| 6 | 해체계획서 검토 및 검토결과 제출 | • 해체계획서 검토자의 자격 적정성 여부 • 해체계획서 검토항목의 적정성 여부 • 해체계획서 보완요구사항의 적정성 여부 • 해체계획서 보완 결과의 적정성 여부 • 해체계획서의 필수확인점 지정의 적정성 여부 | 해체계획서 작성자 해체계획서 검토자 원수급인 하수급인 | 해체계획서 검토 완료 시 |
| 7 | 해체계획서 승인 요청 | • 해체허가 신청서 기재 내용의 적정성 여부 - 원수급인, 하수급인 표기의 적정성 | 발주자 원수급인 하수급인 | 해체계획 승인 요청 전 |
| 8 | 해체계획서 검토 및 검토결과 송부 | • 발주자, 원수급인, 하수급인 표기의 적정성 여부 • 해체계획서 검토 및 보완 결과의 적정성 여부 • 승인 통보 시 안전 안내사항의 적정성 여부 • 해체계획서의 필수확인점 지정의 적정성 여부 | 해체공사의 인허가자 / 시군구청 담당자 | 해체계획서 승인 전 |
| 9 | 해체공사 감리 요청 | • 감리계약 당사자 및 감리 대상자의 적정성 여부(원수급인의 감리대상자 지정 여부) • 감리자의 상주 여부 • 해체계획서의 필수확인점 지정의 적정성 여부 | 발주자 감리자 원수급인 하수급인 | 감리 계약 시 |
| 10 | 해체공사 승인 | • 철거 방법 변경 여부 | 하수급인 | - |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|----------------------|--|---|--------------------------------|
| | 요청 | <ul style="list-style-type: none"> 철거방법 변경 시 안전성 확인 여부 | | |
| 11 | 해체공사 승인 (철거시공계획서) | <ul style="list-style-type: none"> 철거 방법의 변경 여부 변경된 해체 및 철거 방법의 적정성 여부 변경된 해체 및 철거 방법의 승인 여부 철거작업의 재하도급 여부 | 발주자 감리자 원수급인 | 원수급인이 하수급인에 해체공사 승인 시 |
| 12 | 해체공사 재하도급(불법) | <ul style="list-style-type: none"> 철거작업 재하도급 시 승인 여부 공사 기간의 변경 또는 적정성 여부 | | 작업시작 전 |
| 13 | 해체공사 작업지시 | <ul style="list-style-type: none"> 해체업체(작업자 소속)의 적정성 여부 해체공법 및 절차 준수 여부 작업자의 안전수칙 준수 여부 | 원수급인 하수급인 감리자 | 작업시작 전 |
| 14 | 해체작업 수행 | <ul style="list-style-type: none"> 해체업체(작업자 소속)의 적정성 여부 해체공법 및 절차 준수 여부 작업자의 안전수칙 준수 여부 | 고용노동부 안전보건공단 발주자 원수급인 감리자 | 작업시작 전, 중 |
| 15 | 해체공사 감리 | <ul style="list-style-type: none"> 감리업무 수행의 적정성 여부 <ul style="list-style-type: none"> 해체업체(작업자 소속)의 적정성 확인 여부 해체공법 변경 사실 확인 여부 해체공법 및 절차 준수 확인 여부 보완 요청 및 보완 결과 확인의 적정성 여부 | 고용노동부 안전보건공단 발주자 원수급인 | 작업 중 |
| 16 | 안전점검 | <ul style="list-style-type: none"> 노사합동 안전점검 실시 적정성 여부 | 고용노동부 안전보건공단 해체공사의인 허가자 발주자 | 점검 시 |

2) 열매체유 보일러 화재·폭발사고 사례

전통적 접근방식의 분석

(1) 일반 현황

가) 열매체유 보일러 시스템 개요

이근원 등(2014년)에 따르면, 열매체유는 열교환기 등을 통하여 공정상의 물질을 간접적으로 가열 또는 냉각시키기 위해 사용되는 기름 성분의 물질이다. 열매체유는 증기 또는 물을 매체로 사용하는 것보다 넓은 운전온도 설정이 가능하며 고온 안정성이 우수하다. 또한 저압에서 사용이 가능하고 부식 방지성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 이러한 장점을 토대로 열매체유는 화학공업, 플라스틱 및 제지공업, 의약품공업 등 다양한 산업분야에서 널리 사용된다.

〈표 III-22〉 열매체유 활용분야(이근원 등, 2012)

| 종류 | 용도 |
|-----------|--------------------------------------|
| 화학공업 | 중합반응, 축합반응, 첨가반응, 증류장치, 정제장치, 농축장치 |
| 목재공업 | 햇 프레스, 건조기 |
| 금속공업 | 산세척 도금처리 장치, 열처리 장치, 전극제조장치, 코팅기 |
| 도장공업 | 열처리 도료 건조장치 |
| 석탄공업 | 석탄석유혼합연료 제조, 석탄가스화 공정 |
| 전자공업 | 인쇄회로기판 프레스 |
| 공조공업 | 축사난방장치, 빌딩냉방장치(냉동기, 열교환기) |
| 유지공업 | 지방산증류장치, 유지분해장치, 진공탈취장치, 수침반응장치 |
| 플라스틱·고무공업 | 햇 프레스, 카렌더 롤, 가류성형기, 수지경화장치 |
| 석유화학공업 | 강제보온장치, 합성반응장치, LPG기화장치, LNG분리장치 |
| 섬유공업 | 중합반응, 용융방사기, 엠보싱롤, 연신기, 건조기, 염색·표백장치 |
| 원자력공업 | 사용재 핵연료처리 장치 |

| 종류 | 용도 |
|------|-----------------------------------|
| 건설공업 | 아스팔트 용해장치, 아스팔트 보온장치, 아스콘 보온장치 |
| 식품공업 | 플라이어용 열교환기, 식품건조기 |
| 기타 | 해수 담수화 장치, 선박용 탱크 보온장치, 가스액화 연료공정 |

열매체유 보일러 시스템은 일반적으로 가열부와 열사용부 사이를 밀폐계 (Closed loop) 구조로 연결하고 그 안에 열매체유를 봉입한 후 순환펌프를 통해 기름을 연속 순환시켜 열을 전달한다. 열매체유 보일러 시스템은 고압이 불가능하거나 정확한 온도제어와 균일하고 빠른 열전달이 필요한 공정에서 고려되며 보일러, 순환펌프, 팽창탱크, 열매체유 저장탱크 등의 장치로 구성된다.

나) 열매체유 보일러 현황

한국에너지공단에 따르면, 국내 설치된 검사대상 보일러는 <표 III-23>⁸⁷⁾와 같이 2021년 기준 총 36,988대이며, 그 중 열매체유 보일러는 총 2,328대로 전체의 6.3%를 차지한다. 이 자료는 「에너지이용합리화법」 제39조에 따른 검사대상 보일러만 집계된 것으로 전기를 연료로 사용하거나, 사용압력·전열면적 등이 작아 검사대상에서 제외되는 경우 그 숫자를 파악할 수 없다. 열매체유 보일러는 흔히 압력용기로 취급되는데 압력용기 세부 분류상 열매체유 보일러가 별도로 구분되지 않아 정확한 현황을 파악하는 것이 불가능하다.

87) 「에너지이용합리화법」 제39조에 따른 검사대상기기 기준; 출처는 한국에너지공단, 「2021 에너지통계 핸드북」

〈표 III-23〉 형식별 보일러 설치현황

| 기기형식 | 계 | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 강철관류증기 | 18,208 | 강철직립증기 | 270 |
| 강철노연증기 | 9,354 | 강철연관온수 | 252 |
| 강철수관증기 | 2,403 | 주철섹션온수 | 165 |
| 강철기타열매 | 2,321 | 강철복합증기 | 118 |
| 강철노연온수 | 1,557 | 강철관류온수 | 101 |
| 강철기타온수 | 560 | 강철복합온수 | 53 |
| 주철섹션증기 | 532 | 강철수관온수 | 46 |
| 강철직립온수 | 437 | 강철섹션증기 | 20 |
| 강철연관증기 | 291 | 강철복합열매 | 7 |
| 강철기타증기 | 288 | 강철섹션온수 | 5 |
| | | 합계 | 36,988 |

다) 물리적 특성 및 위험성

산업현장에서 사용되는 열매체유는 크게 광유와 합성유로 분류한다. 광유는 원유로부터 정제한 것으로 인화점이 높고 가격이 저렴한 장점이 있다. 그러나 황 성분의 불순물을 100% 제거하는 것이 어려워 화학적으로 불안정하고 탄화가 잘 일어나 교환 주기가 짧다는 단점이 있다. 합성유는 화학적 합성을 통해 인공적으로 화학적·열적 안정성을 강화한 것으로 광유 대비 높은 사용온도에 적용할 수 있으나, 가격이 광유 대비 약 3~4배 정도 비싸고 인화점이 낮다는 단점이 있다. 열매체유 제조사 A의 광유와 합성유 물성을 〈표 III-24〉⁸⁸⁾에 예시하였다.

88) 열매체유의 물성은 제조사별 종류에 따라 다르다.

〈표 III-24〉 열매체유 분류 및 특성

| 분류 | | 광유 | 합성유(터페닐계) |
|-------|---------------|----------|-----------------|
| 물성 | 비중(15/4℃) | 0.83 | 1.00 |
| | 동점도(40℃, cSt) | 22/32/46 | 30 |
| | 인화점 | 230~260℃ | 182℃ |
| | 발화점 | 320~380℃ | 374℃ |
| 비용 | | 저렴 | 광유 대비 약 3~4배 비쌘 |
| 교환 주기 | | 짧음 | 광유 대비 긴 주기 |
| 사용온도 | | 300℃ 이하 | 300~350℃ |

열매체유 보일러 시스템은 자주 열매체유 인화점, 연소점 근처 또는 이상에서 운전되기 때문에 누출 시 화재 또는 폭발을 일으킬 수 있다. 이근원 등(2012년)에 따르면, 열매체유는 시간이 지남에 따라 열화(Degradation)되어 인화점은 낮아지고 슬러지가 발생하는 등 위험성이 더욱 커지는 특징이 있다. 이러한 사유로 열매체유 제조사는 설비 보호 및 사고 예방을 위하여 시스템 내의 열매체유를 일정 주기마다 분석하여 〈표 III-25〉⁸⁹⁾와 같이 제조사 내부 기준을 만족하지 못하는 경우 전량 교환할 것을 권장한다.

〈표 III-25〉 열매체유 물성 분석 기준

| 항목 | 주요 내용 | 정상 |
|-----|---|---------|
| 동점도 | <ul style="list-style-type: none"> • 점도가 감소되는 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유가 열분해로 인해 저분자량 물질로 쪼개져 저비점 물질이 많다는 것을 나타냄 • 점도가 증가되는 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유 산화로 인해 중합반응이 진행되어 고분자량 물질 생성으로 고비점 물질이 많다는 것을 나타냄 | ±20% 이하 |
| 인화점 | <ul style="list-style-type: none"> • 클리브랜드 개방식으로 측정 • 고온으로 인한 열분해 시 휘발성이 높아짐 • 다른 물질이 혼입될 경우 인화점이 감소함 | ±20% 이하 |

89) 출처: 이근원 등(2012년), 제조사별 열매체유 종류에 따라 물성 기준은 다르다.

| 항목 | 주요 내용 | 정상 |
|---------------------------------|--|-------|
| 전산가 ⁹⁰⁾ (mgKOH/g) | • 최초 신유의 산가는 0으로 공기와의 접촉에 의한 열매체유의 산화정도를 나타냄 | 0-0.3 |
| 불용해분(wt%) | • 열매체유 안에 있는 scale, char, 고체입자와 같은 고형물을 아세톤에 녹인 후 아세톤에도 녹지 않는 물질의 양을 나타냄 | 0-125 |
| 수분(ppm) | • 수분의 증가는 열매체유 시스템 내 부식, 높은 증기압, 펌프의 캐비테이션 현상을 발생시킴 | 0-350 |
| 잔류탄소분(%) | • 열매체유의 열화과정에서 발생된 탄화생성물로서 규정된 조건에서 연소시킨 후 남아 있는 탄화생성물의 양으로 측정 | 0-0.3 |

열매체유의 열화는 고온에서의 열분해, 팽창탱크로 인한 산화 등으로 발생한다. 열분해는 열매체유 분자가 고온의 열로 인해 쪼개지는 것을 말하며 결과물로 코크스와 저분자량 화합물이 생성된다. 저분자량 화합물은 열매체유의 인화점과 점도를 감소시키고 증기압을 증가시킨다. 이러한 열분해를 방지하기 위해서는 열매체유가 국부적으로 정체하거나 비정상적으로 가열되지 않도록 하여야 한다. 열분해된 저비점 화합물은 팽창탱크를 통하여 방출하고, 코크스는 필터를 통해 걸러냄으로써 열매체유의 성능과 안전성을 일부 유지할 수 있다.

산화는 열매체유가 고온에서 공기와 반응할 때 일어나는 것으로 주로 대기에 개방된 채 운전되는 팽창탱크로 인해 발생한다. 열매체유 산화의 결과물은 산화생성물과 슬러지와 같은 고분자 물질이 있으며 이는 시스템 내부의 막힘을 유발할 수 있다. 산화 속도는 탱크 안으로의 산소 확산 속도, 유체 난류, 노출된 표면적 등에 따라 달라진다. 따라서 열매체유의 안전성을 확보하기 위해서는 팽창탱크를 보일러로부터 충분히 높게 설치하여 낮은 온도에서 대기에 노출되도록 하거나 질소로 밀봉하는 등의 조치가 필요하다.

90) 전산가(Total acid number): 유지나 지방 1g 속에 들어있는 유리된 지방산을 중화하는데 필요한 수산화칼륨의 양을 산가라 하며, 이러한 산가측정법으로 얻어진 수치를 전산가라 한다.

(2) 관계 법령 및 제도

가) 위험물안전관리법(시행 2021.10.21.)

「위험물안전관리법」은 위험물의 저장·취급 및 운반과 이에 따른 안전관리에 관한 사항을 규정함으로써 위험물로 인한 위험을 방지하여 공공의 안전을 확보하고자 하는 소방청 소관의 법률이다. 「위험물안전관리법」상 열매체유는 제4류 위험물(인화성 액체)의 제3석유류 또는 제4석유류에 해당할 수 있으며 <표 III-26>의 지정수량 이상을 저장·취급하는 경우 같은 법이 규정하는 바를 준수하여야 한다. 지정수량 미만을 저장·취급하는 경우에는 시·도 조례를 따르게 되어 있다.

사업장은 해당 법의 적용을 피하고자 인화점 250℃ 이상의 열매체유를 의도적으로 선정하여 사용하기도 한다. 열매체유는 열화가 진행됨에 따라 인화점이 최대 50℃까지(250℃라면 200℃까지) 떨어질 수 있다⁹¹⁾고 일부 업계에서는 파악하고 있다. 또한 사업장은 증발 등으로 부족해진 유량을 기존의 열매체유가 아닌 다른 종류의 것으로 보충함에 따라 인화점, 발화점 등이 더 이상 보증되지 않는 상황이 빈번하게 발생하기도 한다. 현재 국내 법은 사용 중인 열매체유의 채취와 분석 및 교환을 사업장의 자율 의지에 맡기고 있으나, 혼유의 물성에 대한 보증, 정기적인 성분분석 및 교환에 대한 기준 등을 마련함으로써 적극적으로 관련 사고를 예방할 수도 있을 것이다. 다만 열화로 인한 사고 위험성과 관련 제도 도입으로 인한 비용을 비교 분석해볼 필요가 있다.

91) 공단 연구원 산업안전연구실 위험성연구부에서 수행한 재해 사업장에서 채취된 열매체유의 인화점 측정 사례에서는 100℃까지 떨어진 경우도 있었다.

〈표 III-26〉 위험물 및 지정수량

| 유별 | 성질 | 위험물 | | 지정수량 |
|-------------------------|---------|-------------------------|--------|---------|
| | | 품명 | | |
| 제4류 ⁹²⁾ | 인화성 액체 | 1. 특수인화물 | | 50리터 |
| | | 2. 제1석유류 | 비수용성액체 | 200리터 |
| | | | 수용성액체 | 400리터 |
| | | 3. 알코올류 | | 400리터 |
| | | 4. 제2석유류 | 비수용성액체 | 1,000리터 |
| | | | 수용성액체 | 2,000리터 |
| | | 5. 제3석유류 ⁹³⁾ | 비수용성액체 | 2,000리터 |
| 수용성액체 | 4,000리터 | | | |
| 6. 제4석유류 ⁹⁴⁾ | | 6,000리터 | | |
| 7. 동식물유류 | | 10,000리터 | | |

「위험물안전관리법」 제5조(위험물의 저장 및 취급의 제한)는 지정수량 이상의 위험물은 시·도지사의 허가를 받은 제조소등⁹⁵⁾의 장소에서 저장·취급하여야 한다고 규정하고 있다. 여기서 제조소등은 같은 법 시행규칙 제28조부터 제48조에 해당하는 「제조소등의 위치·구조 및 설비의 기술기준」과 제49조의 「제조소등에서의 위험물의 저장 또는 취급에 관한 중요기준 및 세부기준」을 만족하여야 한다. 위 기준 중에 열매체유 보일러 시스템과 관련 있는 내용은 같은 법 시행규칙 [별표 6], [별표 7], [별표 18]로 이에 따라 규제되는 항목을 〈표 III-27〉, 〈표 III-28〉과 같이 정리하였다. 이 연구에서 분석된 열매체유 보일러 시스템 화재·폭발사고 사례에 직·간접적으로 연관이 있는 것으로 판단되는 기준은 〈표 III-29〉에 정리하였다.

92) 「위험물안전관리법」 시행령 [별표 1]

93) 제3석유류: 중유, 클레오소트유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 200도 미만인 것

94) 제4석유류: 기어유, 실린더유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 200도 이상 섭씨 250도 미만의 것

95) 제조소등: 위험물안전관리법 제2조, 제3호 내지 제5호의 제조소·저장소 및 취급소

〈표 III-27〉 제조소등의 위치·구조 및 설비의 기준

| 항목 | | 내용 |
|-----------------------|-------------------|---|
| [별표 6] 옥외탱크 저장소 | 안전거리 | 제조소등과 건축물 또는 공작물간의 최소 수평거리 |
| | 보유공지 | 위험물 최대수량에 따른 저장탱크 주위 공지의 최소 너비 |
| | 표지 및 게시판 | 저장탱크 표시 및 방화에 관한 사항 게시 |
| | 특정/준특정 탱크 기초 및 지반 | 최대수량이 50만ℓ 이상인 경우 기초 및 지반에 대한 기준 |
| | 외부구조 및 설비 | 두께, 재료, 충수시험 등 구조에 대한 기준과 통기관, 압력계, 안전밸브, 수위계 등 설비에 대한 기준 |
| | 특정/준특정 탱크 구조 | 최대수량이 50만ℓ 이상인 경우 강도 및 용접 기준 |
| [별표 7] 옥내탱크 저장소 | 방유제 | 방유제 용량, 크기, 배치, 설비, 통행로 등에 대한 기준 |
| | 일반사항 | 저장탱크 배치, 표시, 게시판, 용량 등에 대한 기준 |
| | 외부구조 및 설비 | 두께, 재료, 충수시험 등 구조에 대한 기준과 통기관, 압력계, 안전밸브, 수위계 등 설비에 대한 기준 |
| | 탱크전용실 구조 및 설비 | 단층건축물 또는 그 외 건축물에 설치됨에 따른 탱크전용실의 구조 및 설비 기준 |

〈표 III-28〉 제조소등에서의 위험물의 저장 또는 취급에 관한 기준

| 항목 | 내용 |
|------------------------|--|
| 저장·취급의 공통기준 | 모든 위험물에 공통 적용되는 저장·취급 행위상의 조치 |
| 위험물의 유별 저장·취급의 공통기준 | 위험물 분류별 저장·취급 행위상의 조치 |
| 저장의 기준 | 특정 저장소별, 위험물별 저장 행위상의 조치 |
| 취급의 기준 | 특정 작업내용별, 장소별, 위험물별 행위상의 조치 |
| 위험물의 용기 및 수납 | 위험물을 용기에 수납하는 경우 용기별 표시 및 수납 방법에 대한 기준 |

〈표 III-29〉 사고사례 관련 위험물안전관리법상의 기술기준

| 구분 | 내용 ⁹⁶⁾ |
|----------------------------|---|
| <p>옥외저장탱크의 외부구조 및 설비</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 폭발 등으로 압력이 비정상적으로 상승하는 경우 내부의 가스 또는 증기를 상부로 방출할 수 있는 구조일 것 • 비압력탱크(최대상용압력 5kPa이하)에 밸브없는 통기관 또는 대기 밸브부착 통기관 설치 • 압력탱크에 압력계 및 안전장치 설치 • 펌프실 내 위험물 취급에 필요한 채광·조명 및 환기설비 설치 • 펌프실 내 가연성 증기 체류 우려 시 옥외 높은 곳으로 배출하는 설비 설치 • 배관에 가열 또는 보온을 위한 설비 설치 시 화재예방상 안전한 구조로 할 것 |
| <p>저장·취급의 공통기준</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 위험물의 성질에 따라 차광 또는 환기 실시 • 온도계, 습도계, 압력계 등으로 적정 환경 감시 • 변질, 이물의 혼입에 의한 위험성 증대 방지 조치 • 위험물을 안전한 장소로 완전히 제거 후 수리 • 가연성 물질 체류할 우려 장소의 전선·전기기구 완전 접속 및 불꽃 유발 기계·기구 사용금지 |
| <p>위험물의 유별 저장·취급의 공통기준</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 제4류: 불티·불꽃·고온체와의 접근 또는 과열을 피하고 함부로 증기를 발생시키지 아니할 것 |

「위험물안전관리법」은 앞서 언급한 기술기준의 준수 여부를 확인하기 위한 행정적 절차로써 제조소등을 설치하고자 하는 자에게 위험물 시설의 설치 및 변경에 대한 허가, 탱크안전성능검사 및 완공검사를 받도록 규정하고 있다. 설치 이후 사용단계에서 관리를 위해서는 제조소등마다 위험물안전관리자를 선임하여 안전관리 업무를 수행하고 정기적으로 안전교육을 받도록 하고 있다. 또한, 예방규정을 정하고 정기점검·정기검사를 실시하도록 하고 있으나 이 두 항목은 제조소등의 종류에 따라 지정수량의 10배에서 200배 이상의 위험물을 저장·취급 시에 대상이 되므로 일반적인 열매체유보일러 시스템 운영에는 해당이 없다.

96) 「위험물안전관리법」 시행규칙 [별표 6], [별표 7], [별표 18]

나) 에너지이용합리화법[시행 2022.3.25.]

「에너지이용합리화법」은 에너지 수급을 안정시키고 에너지의 합리적이고 효율적인 이용을 증진하여 에너지 소비로 인한 환경피해를 줄이는 것을 목적으로 하는 산업통상자원부 소관의 법률이다. 「에너지이용합리화법」은 정부와 에너지 사용자·공급자 등에 합리적이고 효율적인 에너지 이용에 대한 책무를 부여하고 그에 따른 기본계획과 조치, 시책 등을 정하고 있다. 그 중 법 제39조는 보일러, 압력용기, 철금속가열로 등 안전 및 효율관리가 특히 필요한 특정 열사용기자재에 대하여 산업통상자원부 고시 「열사용기자재의 검사 및 검사면제에 관한 기준」에 따라 검사를 받도록 하고 있다. 해당 검사는 고온·고압인 열사용기자재의 제조에서부터 폐기에 이르기까지 전 생애 과정을 관리함으로써 안전사고를 방지하고자 하는 제도이다. 그 외에도 이 법은 검사대상기기관리자 선임을 의무화하고 있으며 안전관리 업무를 수행하게 하고 정기적인 안전교육을 받도록 하고 있다.

열매체유 보일러는 같은 법 시행규칙 [별표 3의3]의 강철제 보일러 또는 압력용기에 해당하는 검사대상기기로서 앞서 언급한 열사용기자재검사를 단계별로 받아야 한다. 다만 전기를 열원으로 사용하는 전기식 열매체유 보일러의 경우 검사대상기기에 포함되지 않아 인허가 및 관리 주체가 없는 법의 사각지대에 있는 것으로 확인되었다. 전기식은 열효율이 높고 공해·소음이 없으며, 연료공급장치나 연돌 등이 필요 없어 열 사용설비 인근에 설치할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점을 토대로 최근 산업계에서 매우 각광받고 있으며 특히 미래산업으로 꼽히는 2차전지산업에서 자주 사용되고 있다. 문제는 전기식을 사용한다고 해서 열매체유 또는 보일러가 가진 원천적 위험성이 사라지는 것이 아니라는 점이다. 또한 열 사용설비 인근에 설치되는 등의 장점이 사고 시에는 역으로 큰 위험이 될 수 있을 것으로 보인다. 따라서 전기식 열매체유 보일러가 기본적으로 갖추어야 할 강도, 제어·안전장치, 설치장소의 제한, 관리상의 조치 등의 기준 마련이 시급한 것으로 판단된다.

〈표 III-30〉 열사용기자재검사 검사대상기기

| 검사대상기기명 | | 적용범위 ⁹⁷⁾ |
|---------|--------------------|---|
| 보일러 | 강철제 보일러 주철제 보일러 | 에너지이용합리화법 시행규칙 [별표 1]에 따른 보일러 ⁹⁸⁾ 중 다음 각 호의 하나에 해당하는 것을 제외 1. 최고사용압력 0.1MPa(1kg/cm ²)이하, 동체 안지름 300mm이하, 길이 600mm 이하인 것 2. 최고사용압력 0.1MPa 이하, 전열면적 5m ² 이하인 것 3. 2종 관류 보일러 4. 온수를 발생시키는 보일러로서 대기개방형인 것 |
| | 소형온수보일러 | 가스를 사용하는 것으로서 가스사용량이 17kg/h{도시가스는 232.6kW(20만kcal/h)}을 초과하는 것 |
| 압력용기 | 1종압력용기 | 최고사용압력(MPa)과 내부 부피(m ³)를 곱한 수치가 0.004를 초과하는 다음 각 호의 어느 하나 1. 증기 그 밖의 열매체를 받아들이거나 증기를 발생시켜 고체 또는 액체를 가열하는 기기로서 용기안의 압력이 대기압을 넘는 것... 4. 용기 안 액체 온도가 대기압에서의 끓는점을 넘는 것 |
| | 2종압력용기 | 최고사용압력 0.2MPa를 초과하는 기체를 안에 보유하는 용기로서 다음 각 호의 어느 하나 1. 내부 부피가 0.04m ³ 이상인 것 2. 동체의 안지름이 200mm 이상, 길이가 1천mm 이상 |

가스나 유류 등을 열원으로 사용하여 열사용기자재검사를 받아야 하는 경우 실시되는 검사 종류와 기준은 〈표 III-31〉과 같으며, 이 연구에서 분석된 열매체유 보일러 시스템 화재·폭발사고 사례에 직·간접적으로 연관이

97) 「에너지이용합리화법」 시행규칙 [별표 3의3]

98) 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

1. 1종 관류 보일러: 강철제 보일러 중 헤더 안지름 150mm 이하, 전열면적 5m² 초과 10m² 이하, 최고사용압력 1MPa 이하인 관류 보일러(기수분리기를 장치한 경우 기수분리기 안지름 300mm 이하, 내부 부피 0.07m³ 이하인 것만 해당)
2. 2종 관류 보일러: 강철제 보일러 중 헤더 안지름 150mm 이하, 전열면적 5m² 이하, 최고사용압력 1MPa 이하인 관류 보일러(기수분리기를 장치한 경우 기수분리기 안지름 200mm 이하, 내부 부피 0.02m³ 이하인 것에 한정)
3. 제1호 및 제2호 외의 금속(주철 포함)으로 만든 것. 다만, 소형 온수 보일러·구멍탄용 온수 보일러·축열식 전기 보일러 및 가정용 화목 보일러는 제외

있는 것으로 판단되는 기준은 <표 III-32>에 상세한 내용을 정리하였다.

<표 III-31> 열사용기자재의 검사 및 검사면제에 관한 기준

| 구분 | | 내용 |
|-----------|-----------------------|--|
| 제조검사 | 용접검사 | 동체, 경판 및 이와 유사한 부분을 용접으로 제조하는 경우 실시하는 검사로 재료, 공작법, 용접부의 외관, 용접부의 기계적 시험, 용접부 후열처리 등에 대한 검사기준 |
| | 구조검사 | 강판·관 또는 주물류를 용접·확대·주조 등에 의하여 제조하는 경우의 검사로 재료, 관·헤더·관부착대 및 플랜지의 강도, 연관·수관·과열관 등의 부착, 수면계, 압력방출장치 등에 대한 검사기준 |
| 설치검사 | | 보일러, 압력용기 또는 철금속가열로를 설치하는 경우 실시하여야 하는 검사로 수압시험, 설치장소, 배관, 압력방출장치, 계측기 등에 대한 검사기준 |
| 계속사용검사 | 안전검사 (개방검사, 사용중검사) | 설치검사, 개조검사, 설치신고 또는 설치장소변경검사를 받은 보일러 및 압력용기의 유효기간을 연장하고자 하는 경우의 검사로 검사주기에 따라 개방검사, 사용중검사를 번갈아 실시 |
| | 운전 성능검사 | 설치 후 운전성능 부문에 대한 유효기간을 연장하고자 하는 경우 실시 하여야 하는 검사로 열효율, 배기가스 성분 등에 대한 검사 기준 |
| 설치장소 변경검사 | | 설치장소를 변경한 경우의 검사로 수압시험, 설치상태 및 운전성능 등에 대한 기준 |
| 개조검사 | | 검사대상기기를 개조하는 경우 재료, 수압시험, 설치상태 및 운전성능 등에 대한 기준 |

<표 III-32> 사고사례 관련 에너지이용합리화법상의 기술기준

| 구분 | 내용 ⁹⁹⁾ |
|------|---|
| 제조검사 | <ul style="list-style-type: none"> • 최고사용압력 및 최고사용온도에 달하면 즉시 작동하는 방출밸브 또는 안전밸브를 1개 이상 갖출 것 • 방출밸브 지름은 25A 이상, 최고사용압력에 110%를 초과하지 않도록 지름과 갯수 선정 • 안전밸브 지름은 25A 이상, 스프링 타입(KS B 6216), 어떠한 경우에도 시트 및 디스크 누설이 없을 것 • 인화성증기를 발생하는 열매체유 보일러에는 안전밸브를 밀폐식 구조 |

| 구분 | 내용 ⁹⁹⁾ |
|------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> 또는 배기를 보일러실 밖 안전한 장소로 방출 안전밸브는 산업안전보건법 제84조에 따른 안전인증을 득할 것 |
| 설치검사 | <ul style="list-style-type: none"> 보일러와 압력방출장치 사이에 체크밸브를 설치할 경우 압력방출장치는 2개 이상일 것 안전밸브는 수직 및 가능한 동체에 직접 부착 안전밸브 분출압력은 1개일 경우 최고사용압력 이하, 2개 이상인 경우 1개는 최고사용압력 이하 기타는 최고사용압력의 1.03배 이하일 것 방출밸브는 최고사용압력 이하에서 작동할 것 작동유체의 온도가 최고사용온도를 초과하지 않도록 온도-연소제어장치를 설치할 것 온도-연소제어장치는 최고사용온도 이내에서 연료가 차단되어야 하며 연료차단 전에 70dB이상 경보를 울릴 것 가스용보일러는 급수 부족에 대비 자동 연료공급 차단장치 및 수동 연료공급 차단밸브 등을 갖출 것 유류 및 가스용보일러는 압력차단 장치 설치 온도 감지 및 자동 연료공급 차단용 온도상한스위치 보일러 1m 이내 배기가스 출구 또는 동체에 설치 가스용보일러 및 용량 5 t/h 이상인 유류보일러는 공급연료량에 따라 연소용 공기 자동조절 기능 갖출 것 가스용보일러는 누설 가스 검지·경보 및 자동 가스공급 차단장치 또는 가스누설자동차단기 설치 |

다) 산업안전보건법[시행 2021.11.19.]

「산업안전보건법」은 산업안전 및 보건에 관한 기준을 확립하고 책임 소재를 명확하게 하여, 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성하고자 하는 고용노동부 소관 법률이다. 이 법은 유해·위험기계 등에 대하여 안전인증 및 안전검사를 받도록 하고 있는데, 열매체유 보일러는 압력용기로서 해당 제도의 대상이 될 수 있다. 다만 한국에너지공단의 「에너지이용합리화법」에 따른 열사용기자재검사를 받은 경우에는 안전인증 및 안전검사가 면제되고 있다.

99) 산업통상자원부고시 제2021-133호 「열사용기자재의 검사 및 검사면제에 관한 기준」

〈표 III-33〉 안전인증·안전검사대상기계등의 규격 및 형식별 적용범위

| 기계·기구 | 규격 및 형식별 적용범위 ¹⁰⁰⁾ |
|--------------------------------|---|
| <p>압력용기</p> | <p>〈안전인증〉 가. 화학공정 유체취급용기 또는 그 밖의 공정에 사용하는 용기로서 설계압력이 게이지 압력으로 0.2MPa(cm²당 2kgf)을 초과한 경우. 다만, 다음 중 어느 하나에 해당하는 용기는 제외 1) 안지름, 폭, 높이, 또는 단면 대각선 길이가 150mm(관(管)을 이용하는 경우 호칭지름 150A) 이하인 용기 ... 14) 사용압력(MPa)과 용기 내용적(m³)의 곱이 0.1 미만인 것으로서 다음의 어느 하나에 해당되는 것 가) 기계·기구의 구성품인 것 나) 펌프 또는 압축기 등 가압장치의 부속설비로서 밀봉, 윤활 또는 열교환을 목적으로 하는 것(다만, 취급유체가 해당 공정의 유체 또는 안전보건규칙 별표 1의 위험물질에 해당되지 않는 경우에 한함) ...</p> <p>〈안전검사〉: 안전인증 기준과 동일하며 제외 항목에 아래 추가 20) 사용압력이 2kgf/cm² 미만인 압력용기</p> |
| <p>보일러·압력용기 압력방출용 안전밸브</p> | <p>〈안전인증〉 보일러 또는 압력용기에 사용하는 압력방출장치로서 스프링에 의해 작동되는 안전밸브. 다만, 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 안전밸브는 제외 가. 액체의 압력을 개방하는 용도로 사용하는 것 나. 설정압력이 0.1메가파스칼 미만인 것 다. 압력조정에 사용하는 언로더에 속하는 것</p> <p>〈안전검사〉: 해당없음</p> |

「산업안전보건법」 제42조는 대통령령으로 정하는 사업으로 제품 생산과 관련된 건설물·기계·기구 및 설비를 설치·이전·변경하는 경우 유해위험방지계획서를 제출하여야 한다. 다만 전기 계약용량이 300kW 미만이면 해당이 없으므로 일부 열매체유 보일러 사용 사업장의 경우 관련 의무가 없을 수도 있다. 이 조항은 사업이나 전기 계약용량과 상관없이 대통령령이 정하는 기계·기구 및 설비를 설치·이전·변경하는 경우에도 대상이 될 수 있는

100) 「안전인증 및 자율안전확인의 신고절차에 관한 고시」 및 「안전검사절차에 관한 고시」

데, 이때는 인화점이 60℃ 이하인 인화성 액체를 하루에 1,000L 이상 취급하는 경우 해당된다.

〈표 III-34〉 유해위험방지계획서 제출 대상 관련 세부내용

□ 산업안전보건법

제42조(유해위험방지계획서의 작성·제출 등) ①사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 이 법 또는 이 법에 따른 명령에서 정하는 유해·위험 방지에 관한 사항을 적은 계획서(이하 “유해위험방지계획서”라 한다)를 작성하여 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 고용노동부장관에게 제출하고 심사를 받아야 한다. 다만, 제3호에 해당하는 사업주 중 산업재해발생을 등을 고려하여 고용노동부령으로 정하는 기준에 해당하는 사업주는 유해위험방지계획서를 스스로 심사하고, 그 심사결과서를 작성하여 고용노동부장관에게 제출하여야 한다.〈개정 2020. 5. 26.〉

1. 대통령령으로 정하는 사업의 종류 및 규모에 해당하는 사업으로서 해당 제품의 생산 공정과 직접적으로 관련된 건설물·기계·기구 및 설비 등 전부를 설치·이전하거나 그 주요 구조부분을 변경하려는 경우
2. 유해하거나 위험한 작업 또는 장소에서 사용하거나 건강장해를 방지하기 위하여 사용하는 기계·기구 및 설비로서 대통령령으로 정하는 기계·기구 및 설비를 설치·이전하거나 그 주요 구조부분을 변경하려는 경우 ...

□ 산업안전보건법 시행령

제42조(유해위험방지계획서 제출 대상) ①법 제42조제1항제1호에서 “대통령령으로 정하는 사업의 종류 및 규모에 해당하는 사업”이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업으로서 전기 계약용량이 300킬로와트 이상인 경우를 말한다.

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| 1. 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외 | 8. 기타 제품 제조업 |
| 2. 비금속 광물제품 제조업 | 9. 1차 금속 제조업 |
| 3. 기타 기계 및 장비 제조업 | 10. 가구 제조업 |
| 4. 자동차 및 트레일러 제조업 | 11. 화학물질 및 화학제품 제조업 |
| 5. 식료품 제조업 | 12. 반도체 제조업 |
| 6. 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 | 13. 전자부품 제조업 |
| 7. 목재 및 나무제품 제조업 | |

②법 제42조제1항제2호에서 “대통령령으로 정하는 기계·기구 및 설비”란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 기계·기구 및 설비를 말한다. 이 경우 다음 각 호에 해당하는 기계·기구 및 설비의 구체적인 범위는 고용노동부장관이 정하여 고시한다. 〈개정 2021. 11. 19.〉

- | | |
|----------------------|--|
| 1. 금속이나 그 밖의 광물의 용해로 | 5. 근로자의 건강에 상당한 장애를 일으킬 우려가 있는 물질로서 고용노동부령으로 정하는 물질의 밀폐·환기·배기를 위한 설비 |
| 2. 화학설비 | |
| 3. 건조설비 | |
| 4. 가스집합 용접장치 | 6. 삭제<2021. 11. 19.> |

□ 제조업 등 유해·위험방지계획서 제출·심사·확인에 관한 고시

제3조(계획서 제출대상) 영 제42조제2항에 따른 계획서 제출대상 기계·기구 및 설비의 구체적인 대상은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 설비를 포함하는 단위공정을 말한다.

1. 영 제42조제2항제1호에 따른 "금속이나 그 밖의 광물의 용해로"는 금속 또는 비금속 광물을 해당물질의 녹는점 이상으로 가열하여 용해하는 노(爐)로서 용량이 3톤 이상인 것
2. 영 제42조제2항제2호에 따른 "화학설비"는 안전보건규칙 제273조에 따른 "특수화학설비"로 단위공정 중에 저장되는 양을 포함하여 하루동안 제조 또는 취급할 수 있는 양이 안전보건규칙 별표 9에 따른 위험물질의 기준량 이상인 것(단, 영 제43조 제2항에서 정한 설비는 제외) ...

□ 산업안전보건기준에 관한 규칙

제273조(계측장치 등의 설치) 사업주는 별표 9에 따른 위험물을 같은 표에서 정한 기준량 이상으로 제조하거나 취급하는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 화학설비(이하 "특수화학설비"라 한다)를 설치하는 경우에는 내부의 이상 상태를 조기에 파악하기 위하여 필요한 온도계·유량계·압력계 등의 계측장치를 설치하여야 한다.

1. 발열반응이 일어나는 반응장치
2. 증류·정류·증발·추출 등 분리를 하는 장치
3. 가열시켜 주는 물질의 온도가 가열되는 위험물질의 분해온도 또는 발화점보다 높은 상태에서 운전되는 설비
4. 반응폭주 등 이상 화학반응에 의하여 위험물질이 발생할 우려가 있는 설비
5. 온도가 섭씨 350도 이상이거나 게이지 압력이 980킬로파스칼 이상인 상태에서 운전되는 설비
6. 가열로 또는 가열기

[별표 9] 위험물질의 기준량

| 위험물질 | 기준량 |
|---|-------|
| 4. 인화성 액체 가. 에틸에테르·가솔린·아세트알데히드·산화프로필렌, 그 밖에 인화점이 23℃ 미만이고 초기 끓는점이 35℃ 이하인 물질 | 200리터 |

| 위험물질 | 기준량 |
|---|---------|
| 나. 노말핵산·아세톤·메틸에틸케톤·메틸알코올·에틸알코올·이황화탄소, 그 밖에 인화점이 23℃ 미만이고 초기 끓는점이 35℃를 초과하는 물질 | 400리터 |
| 다. 크실렌·아세트산아밀·등유·경유·테레핀유·이소아밀알코올·아세트산·하이드라진, 그 밖에 인화점이 23℃ 이상 60℃ 이하인 물질 | 1,000리터 |

「산업안전보건법」 제44조는 대통령령으로 정하는 유해하거나 위험한 설비가 있는 경우 중대산업사고¹⁰¹⁾ 예방을 위하여 공정안전보고서를 제출하도록 하고 있다. 제출 대상 설비는 같은 법 시행령 제43조가 정하는 석유·화학산업 등의 보유설비이며, 그 외의 업종의 경우 인화점 60℃ 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 인화성 물질을 5,000kg 이상 제조·취급(저장 200,000kg)하는 설비이다. 열매체유 보일러 시스템의 경우 사용 사업장이 석유·화학산업 등인 경우와 보일러 사용온도가 열매체유의 인화점보다 높은 경우 해당 조항에 의해 관리 받게 된다.

〈표 III-35〉 공정안전보고서 제출 대상 관련 세부내용

□ 산업안전보건법

제44조(공정안전보고서의 작성·제출) ①사업주는 사업장에 대통령령으로 정하는 유해하거나 위험한 설비가 있는 경우 그 설비로부터의 위험물질 누출, 화재 및 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근 지역에 피해를 줄 수 있는 사고로서 대통령령으로 정하는 사고(이하 “중대산업사고”라 한다)를 예방하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 공정안전보고서를 작성하고 고용노동부장관에게 제출하여 심사를 받아야 한다. 이 경우 공정안전보고서의 내용이 중대산업사고를 예방하기 위하여 적합하다고 통보받기 전에는 관련된 유해하거나 위험한 설비를 가동

101) 중대산업사고: 대통령령으로 정하는 유해하거나 위험한 설비로부터의 위험물질 누출, 화재 및 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근 지역에 피해를 줄 수 있는 사고로서 대통령령으로 정하는 사고

해서는 아니 된다.

□ **산업안전보건법 시행령**

제43조(공정안전보고서의 제출 대상) ①법 제44조제1항 전단에서 “대통령령으로 정하는 유해하거나 위험한 설비”란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업을 하는 사업장의 경우에는 그 보유설비를 말하고, 그 외의 사업을 하는 사업장의 경우에는 별표 13에 따른 유해·위험물질 중 하나 이상의 물질을 같은 표에 따른 규정량 이상 제조·취급·저장하는 설비 및 그 설비의 운영과 관련된 모든 공정설비를 말한다.

1. 원유 정제처리업
2. 기타 석유정제물 재처리업 ...

[별표13] 유해·위험물질 규정량

| 유해·위험물질 | CAS번호 | 규정량(kg) |
|-----------|-------|---------------------------|
| 2. 인화성 액체 | - | 제조·취급: 5,000(저장: 200,000) |

비고

... 인화성 액체란 표준압력(101.3 kPa)에서 인화점이 60℃ 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 물질을 말한다.

열매체유 보일러 시스템이 앞서 언급한 안전인증·안전검사, 유해위험방지계획서 및 공정안전보고서 제출 대상에 해당되지 않더라도 사업주는 「산업안전보건법」 제38조에 의거 산업재해 예방을 위한 안전조치를 실시하여야 한다. 안전조치에 대한 구체적인 내용은 「산업안전보건기준에 관한 규칙」으로 정하고 있으며 사업주에 법적인 책임이 부여되는 최소한의 조치로 볼 수 있다. 따라서 더욱 적극적인 산업재해 예방조치를 위해서는 열매체유 보일러 시스템에 특화하여 마련된 안전보건공단의 「열매유 보일러에 관한 기술지침」을 참고할 필요가 있어 보인다. 이 지침은 법적인 강제성 없는 권장사항이나 열매체유와 부속 시스템, 방호조치에 대한 구체적인 기술지침과 운전, 유지보수 및 교육훈련에 관한 내용까지 깊이 있게 다루고 있다. 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 및 「KOSHA GUIDE 열매체유 보일러에 관한 기술지침」에서 이 연구에서 분석된 열매체유 보일러 시스템 화재·폭발사고 사례에 직·간접적으로 연관이 있는 것으로 판단되는 내용은 <표 III

-36), <표 III-37>에 정리하였다.

<표 III-36> 사고사례 관련 산업안전보건기준에 관한 규칙

| 구분 | | 내용 |
|--------------|---------------|--|
| 보일러 | 압력방출장치 | <ul style="list-style-type: none"> • 보일러 규격에 맞는 압력방출장치를 1개 또는 2개 이상 설치 • 최고사용압력(설계압력 또는 최고허용압력) 이하에서 작동되도록 설정(두 개 이상 설치된 경우 하나는 1.05배 이하) • 매년 1회 이상 압력방출장치가 적정하게 작동하는지를 검사한 후 납으로 봉인하여 사용 |
| | 압력제한 스위치 | <ul style="list-style-type: none"> • 최고사용압력과 상용압력 사이에서 보일러의 버너 연소를 차단할 수 있도록 압력제한스위치를 부착하여 사용 |
| | 폭발위험의 방지 | <ul style="list-style-type: none"> • 압력방출장치, 압력제한스위치, 고저수위 조절장치, 화염 검출기 등의 기능이 정상적으로 작동될 수 있도록 유지·관리 |
| | 최고사용 압력의 표시 등 | <ul style="list-style-type: none"> • 압력용기등의 최고사용압력, 제조연월일, 제조회사명 등이 지워지지 않도록 각인(刻印) 표시된 것을 사용 |
| 화학설비· 압력용기 등 | 덮개 등의 접합부 | <ul style="list-style-type: none"> • 화학설비 또는 그 배관의 덮개·플랜지·밸브 및 콕의 접합부에 대해 적절한 개스킷을 사용하고 접합면을 서로 밀착 조치 |
| | 밸브 등의 재질 | <ul style="list-style-type: none"> • 화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕에는 개폐 빈도, 위험물질 종류·온도·농도 등에 따라 내구성이 있는 재료 사용 |
| | 안전밸브 | <ul style="list-style-type: none"> • 검사주기에 따라 안전밸브가 적정하게 작동하는지를 검사한 후 납으로 봉인하여 사용 • 최고사용압력 이하에서 작동(2개 이상 설치된 경우에 1개는 최고 사용압력의 1.05배(외부화재를 대비한 경우 1.1배) 이하 • 작동원인에 따라 각각의 소요분출량을 계산하여 가장 큰 수치를 해당 안전밸브등의 배출용량으로 산정 • 배출되는 위험물은 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 처리 |

〈표 Ⅲ-37〉 사고사례 관련 KOSHA Guide 상세기준

| 구분 | | 내용 |
|---------|-------------|--|
| 열매체유 | 선정 | <ul style="list-style-type: none"> 열매유 사용 공정의 최대운전온도 및 열매유의 최고허용온도 |
| | 점검 및 교체 | <ul style="list-style-type: none"> 열화를 방지하기 위하여 고온, 산소, 습기 및 녹과의 접촉을 차단 분해 또는 열화에 의해 생성된 저비점 물질과 불순물을 주기적으로 제거 |
| | 회수 | <ul style="list-style-type: none"> 열매유를 비울 때에는 순환펌프 및 필터를 사용 |
| 보일러 시스템 | 일반사항 | <ul style="list-style-type: none"> 열매유 정체로 인한 국부적 과열 생기지 않도록 열매유 유속 결정 배관의 가장 낮은 위치에 드레인을 설치하여 비상시 저장탱크로 열매유 배출 저장탱크는 가능한 낮은 위치에 설치, 배관 내 전체 열매유를 충분히 수용할 수 있는 용량, 벤트 설치 제어실 및 열매체유 보일러와 가까운 위치에서 주요장치 및 밸브의 조작이 모두 가능하게 할 것 열매유의 사용환경에 따라 가스킷 및 밸브·펌프 패킹 재질 선정 |
| | 구성 | <ul style="list-style-type: none"> 열매유 제조업자가 보장하거나 요구하지 않는 한 시스템내의 열매유를 혼합하여 사용하지 않을 것 열매유 종류를 변경할 경우 설비가 새로운 열매유의 사용에 적합한지 기술적 검토 실시 전기, 계장용 공기 등 유틸리티의 공급중단에 대비하여 조절 밸브 및 중요한 계장설비는 페일 세이프(Fail safe) 설계 |
| | 저장탱크 및 팽창탱크 | <ul style="list-style-type: none"> 팽창탱크는 가급적 가장 높은 곳에 설치 팽창탱크는 대기온도에서 탱크 최대용량의 1/4이상, 최대운전온도에서 최대용량의 3/4이하로 유지될 수 있는 용량 열매유가 공기·습기와 접촉하여 열화할 가능성이 있는 경우 배관계를 밀폐식으로 구성하고 불활성 가스로 밀봉 밀폐식 배관계의 팽창탱크에는 압력조절밸브 및 안전밸브 부착 열매유의 비등점을 초과하여 운전되는 경우, 팽창탱크에 0.1 MPa 내지 0.17 MPa의 질소 가스를 충전하여 가압 팽창탱크에 벤트가 설치된 경우 벤트의 배출구는 안전한 곳으로 배출 |

| 구분 | 내용 |
|---------|---|
| 배관 및 밸브 | <ul style="list-style-type: none"> • 열매유 배관이 공정지역 상부로 설치되는 것을 지양하고 가능한 지하, 옥외 또는 트렌치내에 설치 • 온도 177 ℃이상, 또는 온도 104 ℃이상 압력 0.69 MPa(g) 이상으로 운전되는 열매유 배관은 용접배관으로 하고, 기계적 연결은 펌프, 밸브, 설비 연결 등에 한정 • 열매유가 열화될 때 생성되는 코크 또는 스케일, 슬러지 등을 제거할 수 있는 필터 또는 스트레이너를 설치 • 밸브 스템을 수평으로 설치, 더블 씰을 사용 |
| 펌프 | <ul style="list-style-type: none"> • 씰이 없고 충분한 토출압력과 용량을 가진 원심형 펌프를 사용하며 왕복동형 펌프는 사용하지 않는다 • 260 ℃ 이상에서 운전되는 경우 펌프 씰 냉각설비 설치 • 흡입측에 착탈식 스트레이너를 설치 |
| 단열 | <ul style="list-style-type: none"> • 단열재는 열매체유가 보온재에 스며들어 자연 발화되는 것을 방지하기 위하여 비흡습성 재질로 선정 |
| 방호조치 | <p>안전밸브</p> <ul style="list-style-type: none"> • 설정압력은 보호하려는 용기의 설계압력 또는 최고허용압력 이하(2개 이상 설치된 경우에 1개는 최고사용압력의 1.05배 (외부화재를 대비한 경우 1.1배) 이하) • 과압발생 원인별 소요분출량을 계산하여 가장 큰 수치를 해당 안전밸브 배출용량으로 산정 • 설치대상 용기에서 안전밸브의 인입 플랜지까지의 배관 내 압력손실은 설정 압력의 3% 이하 • 안전밸브로부터 배출되는 위험물질은 연소, 흡수, 세정, 포집 또는 회수 등의 방법으로 처리 <ul style="list-style-type: none"> - 인화성가스·액체의 증기는 플레어에서 소각 후 대기 배출 - 배출물질의 양이 소량인 경우 적절한 형태의 용기에 포집 |
| | <p>자동제어 장치</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다음의 공정조건에 도달하면 경보 및 연료 공급 자동 중단 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유 보일러 출구 온도 및 압력이 높은 경우 - 열매체유 배관 내 압력이 저압으로 떨어진 경우 - 배출되는 연소가스 온도가 60 ℃ 이상 높은 경우 • 제어용 전력이 차단되거나, 스프링클러 또는 연소실 화재 진압용 스팀이 분사되는 경우 경보 및 연료 공급 자동 중단 |
| | <p>기타</p> <ul style="list-style-type: none"> • 열매체유 보일러를 작동 정지시킬 수 있는 비상정지 스위치는 운전원이 상시 근무하는 장소 및 열매유 누출/화재 시 운전원 접근이 가능한 장소에 설치 |

| 구분 | | 내용 |
|--------------|-----------|---|
| 운전 및 유지관리 | 정기검사 | <ul style="list-style-type: none"> 연소실 내부를 관측할 수 있는 감시창을 통하여 열매유의 누출 여부, 내화물의 손상여부 등을 매일 1회 이상 육안검사 열매체유 보일러의 튜브 부위에 과열이 발생하지 않는지 가능한 자주 확인하고 필요시 열탐상카메라를 사용하여 정밀진단 |
| | 열매유 점검 | <ul style="list-style-type: none"> 특성 및 열화여부를 매년 검사하여 제조자가 제시한 기준값 내에 포함 되는지 확인 특성분석결과 결함이 있는 것으로 판정된 경우 설비 전체에 대한 점검을 실시 |
| | 유지관리 | <ul style="list-style-type: none"> 보온재가 누출된 열매유로 인하여 젖어있는 경우 해당 부위의 보온재는 교체하고 오염원인을 제거 압력계 등 계기의 정밀도에 따른 정기적인 점검 및 교정기준을 정하고, 계기는 1년에 1회 이상 검·교정 자동제어장치는 1년 1회 이상 점검, 교정 및 시험을 통하여 정상 작동 여부를 확인 |
| | 교육훈련 | <ul style="list-style-type: none"> 관련된 모든 운전원에게 정상운전 및 이상운전에 대한 교육훈련을 실시하고 열매체유 보일러 운전 및 누출 위험에 대해 인식 정상운전절차 및 비상운전절차에 대한 자세한 내용이 수록된 운전 지침서를 운전원이 상주하는 장소에 비치 화재진압담당자는 비상차단밸브가 설치된 위치와 열매유 특성에 맞는 적절한 화재 진압방법을 숙지 |

(3) 사고사례 분석

가) 사고사례 선정

〈표 Ⅲ-38〉는 안전보건공단의 재해조사의견서 목록에서 ‘열매’라는 키워드 검색을 통해 뽑은 사고사례와 보고서상에 보고된 사고 발생 원인이다. 이 연구의 결과물로 도출될 체크리스트의 시의성을 고려하여 조사가 완료된 최근 10년간의 자료만을 수집하였으며 실 사고사례를 통해 습득한 교훈을 모두 담고자 아래의 사례를 통합적으로 분석하였다.

재해조사의견서 상에 보고된 발생원인은 산업안전보건법 위반사항과 조사과정에서 밝혀진 기술적 원인을 중심으로 작성된다. 이 연구에서는 산업

안전보건법뿐만 아니라 그 외의 관련법과 업무흐름별 필요 조치의 관점에서 문제점과 대책을 발굴하였다.

〈표 III-38〉 사고사례 및 발생원인

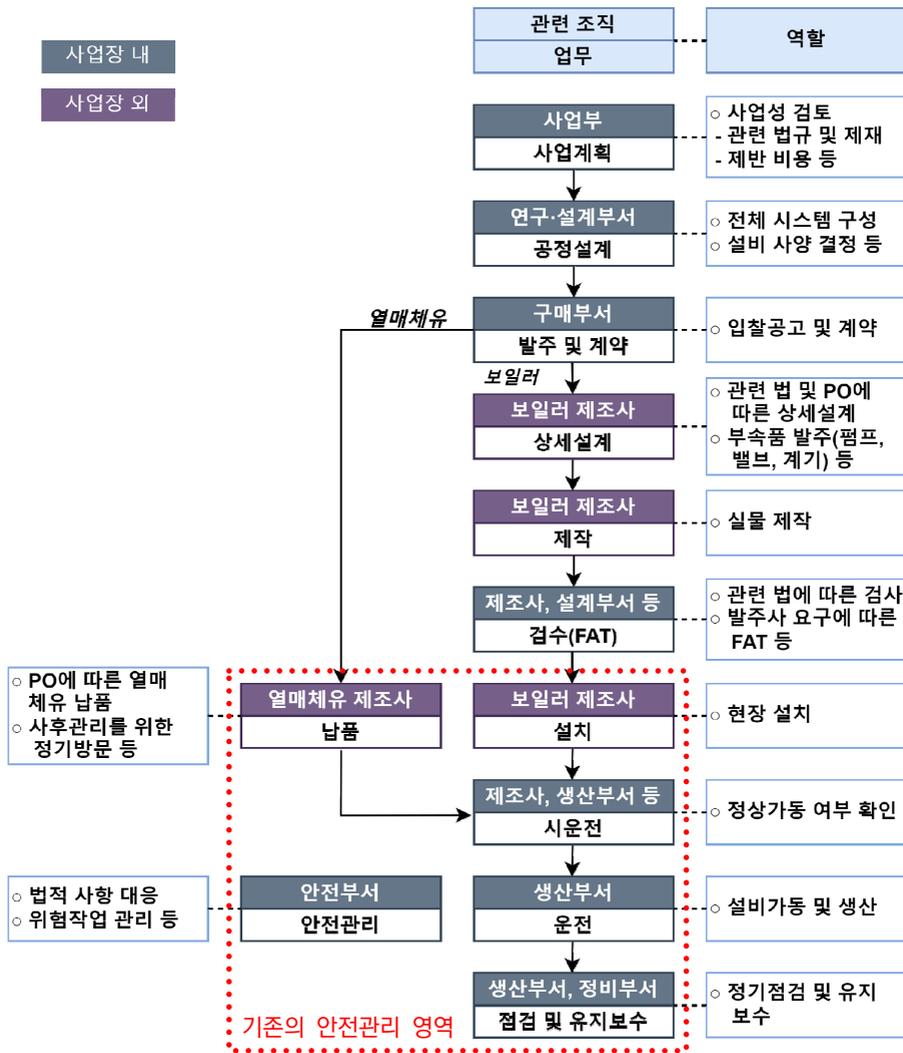
| 구분 | 사고 개요 | 발생원인 |
|----|--|--|
| 가 | 열매배관 온도계 오지시를 확인하기 위해 온도센서를 분리하던 중 고온의 열매체유가 분출되어 화상을 입고, 누출된 열매체유에 의해 화재 발생 | <ul style="list-style-type: none"> • 정비작업 운전정지 미실시 • 계기 연결 방식 부적정 • 열매체유 열화 • 점화원: 자연발화 추정 |
| 나 | 열매체유 순환펌프 베어링 파손으로 열매체유가 다량 누출되면서 화재 발생 | <ul style="list-style-type: none"> • 펌프 베어링 및 씰 교체 후 축정렬 미실시 • 열매체유 변경관리 미실시 • 점화원: 펌프 마찰열 추정 |
| 다 | 지붕재(아스팔트싱글) 생산공정의 아스팔트 이송 펌프 회전축에 누출된 아스팔트 고형물을 브레이커 등을 이용하여 제거하던 중 열매체유가 누출되어 화재 발생 | <ul style="list-style-type: none"> • 적합한 형식의 펌프 미선정 • 제거작업 방식 부적정 • 열매체유 열화 • 점화원: 전기기구 추정 |

나) 관련 조직과 업무흐름

앞의 재해조사의견서에서 기술된 발생 원인을 살펴보면 일부 사항은 사용 전 설계단계에서부터 고려되어야 했던 사항으로 이미 생산설비가 설치된 이후에는 개선에 상당한 비용이 소요되는 것들이 포함되어 있다. 사업장의 안전관리는 보통 생산현장 내에서 이뤄지는 작업에 국한하여 실시되는 경향이 있어, 설계단계에서 실시하여야 하는 원천적인 사고위험 제거에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

사고분석에 앞서 사업장 관계자 인터뷰를 통해 열매체유 보일러 시스템의 도입에서부터 사용까지 업무의 흐름과 관련 조직 및 역할을 〈그림 III-7〉과 같이 도출하였다. 해당 흐름은 사업장에서 열매체유 보일러 시스템을 보일러 제조사에 턴키방식으로 발주 의뢰하였을 경우에 해당한다. 이는 노후된 보일러를 단품으로 교체하는 것이 아니면 보통 연결배관과 펌프, 팽

창탱크 등 전체 시스템을 구성하여 납품하는 것이 일반적이라는 조사 결과에 따라 결정한 것이다.



[그림 III-7] 열매체유 보일러 시스템 관련 업무 흐름 및 관련 조직

다) 업무 흐름별 사고발생 원인 및 대책

공정설계 및 상세설계단계

공정설계는 목적으로 하는 제품을 생산하는데 필요한 공정의 종류와 각 조작 조건을 정하는 단계이다. 공정과 처리하는 장치의 종류가 정해지면 필요조건(원료의 상태, 반응 온도, 압력 등)에서 각 장치의 조작 조건을 결정하게 된다. 이러한 공정설계가 완료되면 각 장치의 구체적인 형태와 치수를 정하게 되는데 이 단계를 상세설계로 보았다.

열매체유 보일러 시스템은 제품 생산에 직접적으로 관여하는 공정이라기 보다는 수단이 되는 공정이므로 사업장의 중요도 인식이 낮은 편이다. 이에 해당 시스템은 보일러 제조사에 주요 사용조건과 함께 턴키방식으로 자주 발주된다. 따라서 공정설계 및 상세설계 업무를 담당하는 조직은 경우에 따라 사업장의 연구 또는 설계부서와 보일러 제조사가 해당될 수 있다.

열매체유 보일러 시스템에 관련된 각종 법령과 지침에 따르면 열매체유 보일러의 사고예방을 위해서는 다음의 사항들이 고려되어야 한다. 열매체유 보일러는 과열되는 경우 화재·폭발 위험성이 높아지므로 보일러 출구 온도 및 압력이 과도하게 높은 등의 위험한 공정조건에서 연료 공급이 자동으로 차단되어야 한다. 갑작스런 전력, 공압 등 유틸리티 공급 중단에 대비하여 중요한 계장설비는 Fail-Safe 설계를 하여야 한다. 방호장치로 압력방출장치, 압력제한스위치, 화염검출기 등을 설치하여 폭발위험을 방지하여야 한다.

열매체유는 사용 공정의 최대 운전온도보다 높은 인화점을 갖는 것을 선정하는 것이 바람직하다. 팽창탱크는 불활성 가스로 밀봉하고 가급적 높은 곳에 설치하여 최대한 낮은 온도에서 대기를 접하게 해야 한다. 또한 열매체유의 열분해로 인해 생성되는 저비점 물질과 불순물을 주기적으로 제거할 수 있도록 배관에 스트레이너 등을 설치해야 한다.

배관이나 펌프 등의 연결부에서 열매체유가 누출되는 경우 높은 사용온도로 인해 화재의 위험이 높아지므로 열매체유 배관은 용접배관으로 연결하는 것이 바람직하다. 배관 단열재는 열매체유가 스며들지 못하도록 비흡

습성 재질로 선정하여야 한다. 배관의 가장 낮은 위치에 드레인을 설치하여 비상시 저장탱크로 열매체유를 배출할 수 있어야 하며, 저장탱크는 배관 내 열매체유를 충분히 수용할 수 있는 용량이어야 한다. 이외에도 열매체유 보일러 시스템에 적용할 수 있는 안전설계 기준은 매우 다양한데, 앞에서 살펴본 관련 법령과 한국에너지공단, 안전보건공단 등의 기술지침 등에서 상세한 내용을 찾아볼 수 있다. <표 Ⅲ-39>는 <표 Ⅲ-38>의 사고사례가 공정설계 및 상세설계단계에서 고려되지 않아 사고가 발생한 것으로 추정되는 발생원인과 대책을 작성한 것이다.

<표 Ⅲ-39> 공정설계 및 상세설계단계 사고 발생원인과 대책

| 구분 | 발생원인 | 대책 |
|----------|---|---|
| 압력 방출 장치 | 안전밸브의 토출배관 끝단이 보일러실 내에 설치되어 열매체유 증기가 보일러실 내 체류 | 안전밸브 토출배관 끝단은 점화원이나 작업자가 없는 안전한 장소(녹아웃 드럼 등)에 설치 |
| | 안전밸브의 시트를 보일러 설계온도보다 낮은 온도 사양으로 선정 | 안전밸브는 보일러 설계온도 이상의 것으로 선정 |
| 열매체유 | 열매체유 인화점보다 높은 온도로 운전되었으나 폭발위험장소 미지정 | 열매체유 인화점보다 높은 온도로 운전하는 경우 폭발위험장소로 구분 |
| | 열매체유가 열화하여 인화점·발화점 등의 물성이 저하 | (산화)팽창탱크는 공기와 접촉되지 않도록 불활성 가스 밀봉 (열분해)열매체유가 국부적으로 정체하거나 비정상적으로 가열되지 않도록 설계 |
| | 열매체유가 누출하여 폭발범위를 형성 | 누출위험이 있는 장소에 감시체계(CCTV, 감지기 등)를 구축 |
| 접지 | 배관계통의 본딩 미실시로 정전기 체류 | 시스템 구성요소를 접지하고 배관의 연결부는 전기적으로 연결되도록 본딩 |
| 배관 | 열전대보호관과 온도센서 모두 스크류 타입으로 연결돼 온도센서 분리 중 열전대보호관이 동시 회전함 | 센서 및 계기류 교체작업을 고려하여 배관 계통을 설계 |
| 경보 | 알람패널이 작업자가 상주하는 곳에 있지 않아 초동 대응이 늦어짐 | 제어실 등 사람이 상주하는 곳에 알람, 제어 패널 등을 설치 |

발주 및 계약단계

발주 및 계약 단계에서 사용 사업장이 열매체유 보일러 시스템의 안전조치에 대해 법적으로 규제 받는 내용은 없었다. 다만 보일러 제조사의 인터뷰를 통해 발주서상의 기술적인 요구사항으로 보일러의 기본 운전조건만을 명시하는 경우가 많아 제조사는 최소한의 법적 안전장치만을 적용하는 것으로 파악되었다. 보일러 제조사는 관련법에 따라 기본적으로 안전밸브(압력방출장치)와 차압스위치, 배기가스 온도 상한스위치 등을 설치하고 있었다. 비규제장치이나 사고발생 시 화재 확대를 차단하고 사고예방 효과가 큰 열매체유 긴급 회수용 저장탱크는 설치부지(장소) 및 비용 등의 문제로 자주 제외되는 것을 확인하였다.

열매체유 보일러 시스템의 사고는 주로 화재·폭발 형태로 발생되므로 피해 규모가 매우 크다. 발주자는 법적으로 요구되지 않더라도 사고 예방을 위해 필요한 장치들은 설치하는 것이 바람직하다. 제조사는 전문가로서 시스템 자체가 가지고 있는 위험성과 사고 예방을 위한 장치에 대해 발주자가 인지할 수 있도록 노력하는 것이 필요하다.

사고사례 중 발주 및 계약단계에서 사고가 유발된 사항은 확인하기 힘들었다. 다만 적극적인 사고예방 활동의 일환으로써 사업장에서 고려함이 바람직하다고 판단한 사항은 <표 III-40>과 같다.

<표 III-40> 발주 및 계약단계에서 확인할 사항

| 구분 | 확인 사항 |
|------|---|
| 안전장치 | 발주서에 화재·폭발 방지를 위한 안전장치에 관한 내용을 포함하거나 제조사에서 제안토록 할 것 |
| | 입찰업체의 견적서 상에 화재·폭발 방지를 위한 장치가 적절히 제시되었는지 확인할 것 |

납품 및 설치단계

열매체유 보일러와 열매체유가 납품되어 생산 현장에 설치되는 단계의 관련 조직은 보일러 제조사와 열매체유 공급업체, 사용 사업장의 생산부서 등이 있다. 이 단계부터는 사용 사업장 내 영역에서 관련 작업이 이뤄짐에 따라 사업장의 작업허가 절차에 따라야 하며, 관련 조직은 해당 작업에 요구되는 안전조치 여부를 확인하여야 한다.

보일러 제조사의 운전매뉴얼 상에서 확인한 이 단계에서 고려되어야 할 사항은 다음과 같다. 보일러의 본체 및 부대품, 여러 가지 배관 및 배선들은 설계도면에 따라 정확하게 설치되어야 한다. 또한 열매체유를 보일러 및 배관에 주입하기 전에 기밀시험을 하여 누유를 방지하여야 한다. 열매체유는 모든 장치의 가동이 중단된 상태에서 팽창탱크의 1/5하단 지점까지만 주입하도록 한다.

사고사례 중 납품 및 설치단계에서 사고를 유발한 원인은 확인하지 못하였으나 사고예방을 위해 확인해야 할 사항은 <표 III-41>과 같다.

<표 III-41> 납품 및 설치단계에서 확인할 사항

| 구분 | 확인 사항 |
|------|--|
| 일반사항 | 보일러의 본체, 부대품, 배관, 배선 등을 설계도면에 따라 정확하게 설치 |
| 열매체유 | 열매체유를 보일러 및 배관 에 주입하기 전에 기밀시험을 하여 누유를 방지 모든 장치의 가동이 중단된 상태에서 팽창탱크의 1/5하단 지점까지만 주입 |

시운전단계

열매체유 보일러 시스템을 신규 설치하거나 운영을 중단하였다가 다시 재가동하는 경우 본격적인 운전을 시작하기 전에 시운전을 실시하여, 초기 고장을 감지하고 갑작스러운 운전으로 인한 위험을 방지하여야 한다. 이 단계에서는 보일러 제조사와 사용 사업장의 생산부서 등의 조직이 관련이 있다.

보일러 제조사의 운전매뉴얼 상에서 확인한 시운전 시 주의사항은 다음

과 같다. 열매체 신유에 포함된 소량의 수분과 저비점 물질을 배출하기 위하여 보일러 작동 2시간 이내에 110℃ 이상으로 온도를 올리지 않아야 한다. 배기가스의 CO₂(정상범위 12~13%) 함량을 체크하여 공기 주입량을 조정해야 한다. 또한 수일 간 가동한 후 저장탱크 및 팽창탱크 하단부와 드레인 밸브 사이에 응축된 고인물을 배출시켜야 한다. 차압스위치, 고온차단스위치 등의 안전장치들이 제대로 작동하는지 확인하여야 한다.

사고사례 중 시운전 단계에서 확인하여야 할 것을 누락하였거나 시운전 중에 사고가 발생한 경우는 없었다. 다만 보일러 제조사의 운전매뉴얼에 따라 사고예방을 위하여 주의해야 할 사항을 정리하면 <표 III-42>와 같다.

<표 III-42> 시운전단계에서 확인할 사항

| 구분 | 확인 사항 |
|------|--|
| 일반사항 | 보일러 작동 2시간 이내에 110℃ 이상으로 온도를 올리지 말 것 |
| 연소 | 공기 주입량을 조정하여 배기가스 내의 CO ₂ 함량을 12~13%로 맞출 것 |
| 배관 | 수일 간(몇일) 가동한 후 저장탱크 및 팽창탱크 하단부와 드레인 밸브 사이에 응축된 고인물을 배출 |
| 안전장치 | 차압스위치, 고온차단스위치 등의 안전장치의 정상 작동여부 확인 확인 |

정상운전단계

시운전이 완료되면 사용 사업장의 생산부서는 본격적으로 시스템을 운전하여 생산 공정에 열에너지를 투입하기 시작한다. 관련 법령과 기술지침에 따르면 열매체유 보일러의 안전한 사용을 위해 운전자는 매일 온도계, 압력계 등으로 적정 환경을 감시하여야 한다. 또한 가연성 물질이 체류할 수 있는 장소에서는 전선·전기기계·기구 등 확실히 접속하고 불꽃 유발 기계·기구는 사용하지는 안 된다. 인화성 액체는 불티·불꽃·고온체와의 접근이나 과열을 피해야 하며 함부로 증기를 발생시켜서는 안 된다. 또한 연소실 내부를 관측할 수 있는 감시창을 통해 열매체유의 누출 여부, 내화물의 손상

여부 등을 매일 1회 이상 육안으로 확인하여야 한다.

보일러 제조사의 운전매뉴얼은 정상운전 중 확인해야 할 사항을 조금 더 명확히 제시한다. 운전자는 제조사 매뉴얼에 따라 매일 보일러 입·출구 압력이 정상 운전범위 내에서 가동되는지, 입·출구 온도가 정상 운전범위 내에서 유지되는지 확인하여야 한다. 또한 순환펌프의 흡입측 압력은 최소 요구압력이상이어야 하며 소음, 진동 및 누유가 발생하지 않아야 한다. 배기 가스 온도는 출구에서 80℃ 이하여야 하며 매연이 발생하지 않아야 한다. 각종 스위치, 제어기기 등은 설정 값을 점검하고 제어반(패널)의 정상 동작 여부를 점검하여야 한다. 팽창탱크의 액면은 상온에서 액면계 하단에 보일 정도이어야 하며, 정상 가동 중에는 액면계 중심에서 상단 사이에 위치하여야 한다. 열매체유 순환계통의 누유 상태를 점검하고 기타 가스·유류·전기 히터 등 연료의 종류별로 확인해야 할 사항을 점검해야 한다.

사고사례 중 정상운전단계에서 발생한 건에 대한 발생원인과 대책은 <표 III-43>과 같다.

<표 III-43> 정상운전단계 사고 발생원인과 대책

| 구분 | 발생원인 | 대책 |
|----|------------------------|---------------------------------|
| 펌프 | 순환펌프의 베어링 파손 및 열매체유 누출 | 순환펌프의 소음, 진동, 누유 발생여부를 매일 점검할 것 |

보일러 제조사의 운전매뉴얼에 제시된 정상운전단계에서 확인해야 할 사항을 정리하면 <표 III-44>와 같다.

〈표 III-44〉 정상운전단계에서 확인할 사항

| 구분 | 확인 사항 |
|------|---|
| 계기류 | 보일러 입·출구 압력이 정상 운전범위 내에 있음을 확인 |
| | 보일러 입·출구 온도가 정상 운전범위 내에 있음을 확인 |
| 펌프 | 순환펌프의 흡입측 압력이 최소 요구압력 이상, 소음·진동 및 누유 발생 없음을 확인 |
| 연소 | 배기가스 온도는 출구에서 80℃ 이하, 매연이 발생하지 않는지 확인 |
| 자동제어 | 각종 스위치, 제어기 등의 설정 값을 점검하고 제어반(패널)의 정상 동작 확인 |
| 팽창탱크 | 팽창탱크의 액면은 상온에서 액면계 하단에 보일 정도여야 하며, 정상 가동 중에는 액면계 중심에서 상단 사이에 위치하는지 확인 |
| 열매체유 | 열매체유 순환계통의 누유 상태 없는지 점검 |

점검 및 유지보수단계

열매체유 보일러 시스템의 점검 및 유지보수는 관련 설비 또는 열매체유에 관한 것이므로 구분하여 살펴보았다. 또한 일상적으로 점검해야 하는 사항은 정상운전 단계에서 언급하였으므로 제외하였다. 이 단계에서는 사용사업장의 생산부서 또는 정비부서가 관여하게 되는데 정비의 경우 자주 외부 협력업체에 도급되므로 안전관리 측면에서 더욱 주의하여야 한다.

우선 설비는 「산업안전보건법」 제44조에서 정하는 공정안전보고서 제출 대상에 해당하는 경우 설비점검·검사, 보수·유지계획 및 지침서가 작성되어야 한다. 제출 대상이 아니더라도 관련 법령과 기술지침은 사고예방을 위하여 다음과 같은 점검을 실시할 것을 명시하고 있다. 먼저 압력방출장치, 압력제한스위치, 화염검출기 등은 기능이 정상적으로 작동될 수 있도록 관리되어야 한다. 안전밸브는 검사주기에 따라 적정하게 작동하는지 검사 후 납으로 봉인하여 사용해야 한다. 압력계 등 계기의 경우 정기점검 및 교정 기준을 정하고 1년에 1회 이상 검·교정해야 하며, 자동제어장치도 1년에 1회 이상 점검, 교정 및 시험을 하여 정상 작동여부를 확인해야 한다. 보일러

러 튜브 부위에 과열이 발생하지 않는지 주기적으로 확인하고 필요하다면 열 탐상 카메라를 사용하여 정밀진단 하여야 한다.

보일러 제조사의 운전매뉴얼은 설비 및 열매체유에 대해 주기적으로 점검해야 할 사항을 정하고 있다. 매주 확인해야 할 사항으로는 버너의 노즐, 전극봉 간격, 화염검출기 확인 및 청소이다. 또한 액체 연료를 사용하는 경우에는 연료 라인의 스트레이너를 분해하고 청소해야 하며, 청소한 후에는 벤딩 밸브를 열어 공기를 배출시켜야 한다. 매월마다 연료탱크 및 열매탱크의 드레인 작업을 실시하여야 한다. 소모품은 부품마다 수명을 조사하여 정기적으로 교체해주어야 한다.

열매체유 점검과 관련하여 관련 법령과 기술지침은 열매체유의 특성 및 열화여부를 매년 검사해 제조사가 제시한 기준 값 내에 포함되는지 확인하도록 하고 있다. 제조사 인터뷰 결과에 따르면 열매체유 제조사는 열매체유를 사용 개시일로부터 5년 이내에는 매년 1회, 그 이후로는 6개월마다 1회 채취하여 분석할 것을 권장하고 있다. 특성 분석 결과 결함이 있는 것으로 판정되면 설비 전체에 대한 점검을 실시할 필요가 있다. 열분해 또는 열화에 의해 생성된 저비점 물질과 불순물은 주기적으로 제거하여야 하는데, 열매체유 제조사에서는 열매체유 배관의 스트레이너 청소 작업을 매월 1회 실시할 것을 권장하고 있다.

그 외 시스템 이상으로 인해 긴급 보수하는 등의 비정형 작업을 실시하는 경우에는 위험물을 안전한 장소에 완전히 제거한 후 작업하도록 해야 한다. 또한 앞서 정상운전에서 언급한 바와 같이 가연성 물질이 체류할 수 있는 장소에서는 불티·불꽃을 유발하는 기계·기구를 사용하거나 그러한 작업을 해서는 안 된다.

〈표 III-45〉는 점검 및 유지보수단계에서 고려하지 않아 사고가 발생한 것으로 추정되는 발생원인과 대책을 작성한 것이다.

〈표 III-45〉 점검 및 유지보수단계 사고 발생원인과 대책

| 구분 | 발생원인 | 대책 |
|-------|---|---|
| 자동 제어 | 제어반(패널)의 고장으로 인해 히터가 자동정지 하지 않아 보일러가 과열 | 자동제어장치는 1년에 1회 이상 점검, 교정 및 시험을 하여 정상 작동여부를 확인 |
| 펌프 | 펌프의 점검·검사주기 미설정 및 점검 미실시 | 주요 설비에 대한 점검·검사주기 설정 및 그에 따른 점검·검사 실시 |
| | 펌프 베어링 및 씰 교체 후 축정렬 미실시 | 회전기계를 설치·보수하는 경우 축정렬을 실시 |
| 작업 | 정비·교체작업 등의 작업 시 운전정지 미실시 | 정비·교체작업 등으로 근로자가 위험해질 우려가 있는 경우 사전에 운전을 정지 |
| | 인화성 액체를 취급하는 장소에서 불꽃이나 아크가 발생할 수 있는 전기기계 기구를 사용 | 가연성 물질이 체류할 수 있는 장소에서는 불티·불꽃을 유발하는 기계·기구의 사용 및 그러한 작업은 금지 |
| 열매체유 | 시스템내 열매체유 소실분에 대하여 기존의 열매체유와 다른 유종을 혼합하여 혼합유에 대한 물성 파악 불가 | 혼유하는 경우 혼합유에 대해 시스템 사용 조건에 적합한지 열매체유 제조사의 보장받을 것 |
| | 열매체유 열화로 인한 인화점·발화점의 저하 | 열매체유의 특성 및 열화 여부를 매년 점검 |

보일러 제조사의 운전매뉴얼에 제시된 점검 및 유지보수 사항을 정리하면 〈표 III-46〉과 같다.

〈표 III-46〉 점검 및 유지보수 사항

| 구분 | 확인 사항 |
|------|---|
| 일반사항 | 소모품 및 부품마다 수명을 조사하여 정기적으로 교체 |
| 연소 | 매주마다 버너의 노즐, 전극봉 간격, 화염검출기 확인 및 청소 |
| | 액체 연료를 사용하는 경우 매주마다 연료 라인의 스트레이너를 분해하고 청소하고 청소한 후에는 벤팅 밸브를 열어 공기를 배출 |
| 배관 | 매월마다 연료탱크 및 열매탱크의 드레인 작업 실시 |
| 열매체유 | 열매체유 열화를 확인하기 위한 정기적인 물성 분석(담당부서, 분석 주기 및 방법, 판정기준 등) 등 열매체유 관리 기준 마련 |
| | 열매체유 배관의 스트레이너 청소 작업을 매월 1회 실시 |

라) 전문가 자문 의견수렴

열매체유 보일러 시스템 관련 화재·폭발 사고사례의 재발을 방지하는데 초점을 두고 각계 전문가를 방문하여 구한 자문의견은 이 연구의 내용에 반영하였으며, 주요 내용은 다음과 같다.

〈표 Ⅲ-47〉 전문가 자문 현황

| 일자 | 전공분야 또는 소속 | 내용 |
|-------|--------------------|---|
| 4.14. | 기계 | <ul style="list-style-type: none"> • 열매체유 보일러 시스템 화재·폭발의 핵심원인 및 대책 • 국내 법령 적용 현황 • 열매체유 열화로 인한 위험성 |
| 4.18. | 화공 | <ul style="list-style-type: none"> • 설계·관리·유지보수 단계별 사고예방 방안 • 국외 법령 적용 현황 |
| 4.19. | 화공 | <ul style="list-style-type: none"> • P&ID 기반 안전설계 방법 • 시스템 구성 요소별 위험성 및 사고예방 방안 • 사업장의 관리주체 공백 등 안전보건관리체제상 문제점 |
| 4.21. | 열매체유 보일러 사용 사업장 | <ul style="list-style-type: none"> • 국내 법 적용 현황 및 관련 허가·승인 절차 • 열매체유 보일러 시스템 안전설계 수준 • 관련 업무 흐름 및 조직별 책임 • 열매체유 열화 및 누유 관리 • 사고예방을 위한 현행 법령 개정 의견 |
| 4.26. | 산업용 보일러 제조사 | <ul style="list-style-type: none"> • 국내 열매체유 보일러 설치 현황 • 열매체유 보일러에 적용되는 국내·외 법령 및 기준 • 열매체유 보일러의 안전사고 유형 및 사례 • 발주자의 안전조치 요구 수준 및 대응 실태 • 화재·폭발 사고의 핵심원인 및 대책 • 사고예방을 위한 현행 법령 개정 의견 |
| 5.11. | 열매체유 제조사 | <ul style="list-style-type: none"> • 열매체유 분류와 특성 및 안전한 열매체유 선정 기준 • 열매체유 열화 시 위험성 • 열매체유 교환을 위한 성분분석 항목 및 판단 기준 • 사용업체에 열매체유의 위험성 주지 여부 및 내용 • 안전한 열매체유 사용 및 관리 방법 • 사고예방을 위한 현행 법령 개정 의견 |

| 일자 | 전공분야 또는 소속 | 내용 |
|-------|------------------|---|
| 5.24. | 화공(2명) 기계(1명) | <ul style="list-style-type: none"> • 확인항목별 사고예방 효과 자문평가 • 보고서 초안 검토 |

(4) 체크리스트 제안

가) 업무 흐름별 확인항목 통합정리

앞서 관계 법령 및 제도의 분석, 사고사례 분석, 제조사 및 관계 전문가 인터뷰를 통해 조사된 열매체유 보일러 시스템 화재·폭발 원인 및 예방 대책으로부터 총 86건의 확인 항목을 <표 III-48>과 같이 도출하였다.¹⁰²⁾ 중복되거나 내용이 명확하지 않아 실무에서 활용되기 곤란한 항목은 제거되었으며, 같은 요인에 대해 상이한 기준이 제시된 경우에는 더 엄격한 항목이 채택되었다. 86건의 확인 항목은 해당하는 업무단계와 기인물(장치) 요인별로 구분하였으며, 이해하기 쉽도록 문구를 최대한 간단명료하게 정리하고 질문의 형태로 변경하였다.

<표 III-48> 열매체유 보일러 시스템 업무 흐름별 확인항목

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 항 목 |
|----|---------|------|---|
| Q1 | 발주 및 계약 | 안전장치 | 발주서상에 안전장치에 대한 요구사항을 포함하거나, 견적서에 제안토록 하였는가? |
| Q2 | | | 견적서상에 안전장치 종류와 사양이 적절히 제시되었는가? |
| Q3 | 설계 | 표시 | 최고사용압력, 제조연월일, 제조회사명 등이 지워지지 않도록 각인 표시되어 있는가? |
| Q4 | | 환기 | <p>펌프실 내 가연성 증기 체류에 대비하여 옥외 높은 곳으로 배출하는 설비를 설치하였는가?</p> <p>열매체유 사용공정의 최대운전온도 이상의 최고허용온도를 갖는 열매체유를</p> |

102) <표 III-48>의 내용 중 구체적인 수치는 안전보건공단 기술지침, 여러 제조사의 매뉴얼 등을 참고하여 제시한 것이므로, 실제 현장에서 보일러 설비별로 위험성평가 및 체크리스트 작성하는 경우에는 해당 보일러와 열매체유의 제조사에서 제공하는 매뉴얼에 따라 수치를 적용하면 된다.

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 항 목 | |
|-----|--|--|--|---|
| Q5 | 열매체유 | 배관 | 선정하였는가? | |
| Q6 | | | 열매체유가 국부적으로 정체하거나 과열되지 않도록 열매체유 유속을 결정하였는가? | |
| Q7 | | | 열매체유 배관을 용접배관으로 하고 기계적 연결은 펌프, 밸브, 설비 연결 등에 한정하였는가? | |
| Q8 | | | 열전대보호관 및 계기류의 배관연결은 고정된 형식의 플랜지 타입으로 하였는가? | |
| Q9 | | | 열매체유 사용환경(개폐빈도, 온도, 압력 등)에 따라 가스킷 및 밸브·펌프 패킹 등의 재질·등급을 선정하였는가? | |
| Q10 | | | 열매체유 배관에 불순물 제거를 위한 필터 또는 스트레이너를 설치하였는가? | |
| Q11 | | | 단열재는 비흡습성 재질로 선정하였는가? | |
| Q12 | | | 열매체유 배관은 공정지역 상부에 설치하지 않았는가? | |
| Q13 | | | 열매체유 누출위험이 있는 장소에 감시체계(CCTV, 감지기 등)를 구축하였는가? | |
| Q14 | | | 비상정지 스위치 | 보일러 비상정지스위치는 운전원이 상시근무하는 장소 및 열매체유 누출·화재 시 접근 가능한 장소에 설치하였는가? |
| Q15 | | | 안전밸브 | 보일러 등 최고사용압력 이상 압력 상승의 위험이 있는 부위마다 안전밸브를 설치하였는가? |
| Q16 | | | | 작동원인에 따라 소요 분출량을 계산하여 가장 큰 수치를 배출용량으로 산정하였는가? |
| Q17 | | | | 최고사용압력의 10% 또는 0.35MPa를 더한 값을 초과하지 않도록 지름과 개수를 정하였는가? |
| Q18 | 안전밸브 호칭지름은 최소 25A 이상이며 KS B 6216(증기용 및 가스용 스프링 안전밸브)에 따른 스프링 타입인가? | | | |
| Q19 | 안전밸브는 산업안전보건법 제84조에 따른 안전인증을 득하였는가? | | | |
| Q20 | 안전밸브 축은 수직으로 설치하고 가능한 동체에 직접 부착하였는가? | | | |
| Q21 | 안전밸브 전·후단에 차단밸브를 설치하지 않았는가? | | | |
| Q22 | 차단밸브의 설치가 필요한 경우 산업안전보건기준에 관한 규칙 제266조에 따른 조치를 하였는가? | | | |
| Q23 | 설치대상 부위에서 안전밸브 인입 플랜지까지의 배관 내 압력손실은 설정압력의 3% 이하인가? | | | |
| Q24 | 안전밸브로부터 배출되는 위험물질은 연소, 포집 및 회수 등의 방법으로 처리하는가?(ex. 플레어 소각, 용기 포집) | | | |
| Q25 | 압력제한 스위치 | 상용압력 이상에서 연소를 차단하는 압력제한스위치를 설치하였는가? | | |
| Q26 | 가스누설 자동차단기 | 가스를 연료로 사용하는 경우 가스 검지·경보 및 자동 가스공급차단장치 또는 가스누설자동차단기를 설치하였는가? | | |

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 항 목 |
|-----|---|---------------|--|
| Q27 | | 연료공급 차단장치 | 다음의 공정조건에서 작동하는 경보(70dB 이상) 및 연료공급차단장치를 설치하였는가? 1. 보일러 출구에서 열매체유 온도 및 압력이 높은 경우 2. 열매체유 배관내 압력이 저압으로 떨어진 경우 3. 연소가스의 온도가 정상 대비 60℃이상 높은 경우 4. 제어용 전력이 차단되는 경우 5. 스피링클러 또는 연소실 화재진압용 스팀이 분사되는 경우 |
| Q28 | | 연소용 공기자동 조절장치 | 가스 연료 또는 용량 5t/h이상의 유류 연료 보일러는 연소용공기자동조절 기능을 갖추었는가? |
| Q29 | | 온도상한 스위치 | 과열을 감지하여 연료공급을 차단하는 온도상한스위치를 보일러 1m이내 배기 가스 출구 또는 동체에 설치하였는가? |
| Q30 | | 저장탱크 | 배관의 가장 낮은 위치에 드레인을 설치하여 비상시 저장탱크로 열매체유를 배출할 수 있도록 하였는가? |
| Q31 | 저장탱크는 배관내 열매유를 충분히 수용할 수 있는 용량인가?(보일러 제조사 권장 용량 전체의 130%) | | |
| Q32 | 저장탱크는 가능한 낮은 위치에 설치하였는가? | | |
| Q33 | | 팽창탱크 | 팽창탱크는 열매체유를 상온에서 1/4이상, 최대운전온도에서 3/4 이하로 유지할 수 있는 용량인가? |
| Q34 | | | 배관계통을 밀폐식으로 구성하고 팽창탱크를 불활성가스로 밀봉하였는가? |
| Q35 | | | 열매체유의 비등점을 초과하여 운전되는 경우, 팽창탱크에 0.1~0.17 MPa의 질소가스로 가압하였는가? |
| Q36 | | | 팽창탱크는 가능한 높은 위치에 설치하였는가?(열매체유 제조사 권장 3m 이상) |
| Q37 | | | 밀폐식 배관계의 팽창탱크에는 압력조절밸브 및 안전밸브를 부착하였는가? |
| Q38 | | | 팽창탱크에 벤트를 설치한 경우 안전한 장소로 배출되도록 하였는가? |
| Q39 | | | 충분한 토출압력과 용량을 가진 원심형 펌프를 선정하였는가? |
| Q40 | | 펌프 | 260 ℃ 이상에서 운전되는 경우 펌프 씬(Seal) 냉각 설비를 설치하였는가? |
| Q41 | | | 펌프 흡입 측에 착탈식 스트레이너를 설치하였는가? |
| Q42 | | 접지 | 배관계통을 적절히 등전위 본딩(Bonding)하고 접지하였는가? |
| Q43 | | 제어 | 유틸리티(전력, 공압 등) 공급중단에 대비하여 계장설비는 페일세이프(Fail Safe) 설계하였는가? |
| Q44 | | | 제어실 및 보일러와 가까운 위치에서 주요장치 및 밸브 조작이 가능한가? |
| Q45 | | | 제어실 등 근로자가 상주하는 장소에 알람·제어패널을 설치하였는가? |
| Q46 | | 일반 | 보일러 본체, 부대품, 배관, 배선 등 설계도면에 따라 정확하게 설치하였는가? |
| Q47 | 시공 | 열매체유 주입 | 보일러 및 배관에 기밀시험을 하여 누출을 확인하였는가? |
| Q48 | | | 모든 장치의 가동이 중단된 상태인가? |
| Q49 | | | 열매체유는 팽창탱크의 1/5 지점까지만 주입하였는가? |

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 항 목 |
|-----|---------|--------------|--|
| Q50 | 시운전 | 안전장치 | 안전장치의 정상 작동여부를 확인하였는가? |
| Q51 | | 연소 | 공기 주입량을 조정하여 배기가스 내의 CO ₂ 함량을 12~13%로 맞추었는가? |
| Q52 | | 저장탱크 팽창탱크 | 약 3일 가동 후 저장탱크 및 팽창탱크 하단부와 드레인 밸브 사이에 응축된 고인물을 배출할 것 |
| Q53 | | 기타 | 운전 2시간 이내에 110℃ 이상으로 온도를 올리지 않았는가? |
| Q54 | 정상운전 | 환기 | 옥내 설치된 경우 환기시설이 작동하는가? |
| Q55 | | 연소 | 연소실 내부에 열매체유가 누출되거나 내화물이 손상되지 않았는가? |
| Q56 | | | 배기가스 온도는 출구에서 80℃ 이하이며, 매연이 발생하지 않는가? |
| Q57 | | 배관 | 열매체유 순환계통에 누유가 발생하지 않았는가? |
| Q58 | | 팽창탱크 | 팽창탱크의 액면은 상온에서 액면계 하단, 정상가동 중 액면계 중심에서 상단 사이에 위치하는가? |
| Q59 | | 펌프 | 펌프에서 소음, 진동, 누유가 발생하지 않았는가? |
| Q60 | | | 펌프의 흡입측 압력이 최소 요구압력 이상인가? |
| Q61 | | 계기 | 보일러 입·출구 압력이 정상 운전범위 내에 있는가? |
| Q62 | | | 보일러 입·출구 온도가 정상 운전범위 내에 있는가? |
| Q63 | | 제어패널 | 각종 제어장치의 설정 값은 정상이며 및 제어패널은 정상 작동하는가? |
| Q64 | | 점화원 | 가연성물질이 체류할 수 있는 장소의 전선·전기기구는 완전히 접속하였는가? |
| Q65 | | | 가연성물질이 체류할 수 있는 장소에서 불티·불꽃을 유발하는 기계·기구를 사용하는 것을 금지하였는가? |
| Q66 | | 점검 | 열매체유 |
| Q67 | 배관 | | 열매체유 보일러 튜브에 과열이 발생하지 않는가?(필요 시 열탐상 카메라를 사용하여 정밀진단) |
| Q68 | 안전밸브 | | 연 1회 이상 안전밸브 검사를 실시하고 납으로 봉인하였는가?(그 외 검사주기 설정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제261조 참고) |
| Q69 | 연소 | | 주 1회 이상 버너의 노즐, 전극봉 간격, 화염검출기 이상 여부를 확인하고 청소하였는가? |
| Q70 | 펌프 | | 주요 설비 및 장치에 대해 점검·검사주기를 설정하고 그에 따른 점검·검사를 실시하였는가? |
| Q71 | 계기 | | 계기는 연 1회 이상 검·교정 하였는가? |
| Q72 | 자동제어 장치 | | 자동제어장치는 연 1회 이상 점검, 교정 및 시험을 통하여 정상 작동여부를 확인하였는가? |
| Q73 | 일반 | | 보일러 운전을 정지하고 작업을 실시하는가? |
| Q74 | 유지보수 | 열매체유 | 열매체유를 안전한 장소(비사용 저장탱크 등)로 완전히 제거하고 작업을 실시하는가? |
| Q75 | | | 설비내의 열매체유를 비울때는 순환펌프 및 필터를 사용하며, 불가한 경우 질소 |

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 항 목 | |
|-----|------|--------|--|--|
| | | | 를 이용해 회수하였는가? | |
| Q76 | | | 이중 열매체유로 보충하는 경우 혼유의 물리적 특성이 열매체유 제조사로부터 보장되는가? | |
| Q77 | | | 열매체유 종류를 변경하는 경우 설비가 새로운 열매유의 사용에 적합인지 기술적 검토를 실시하였는가? | |
| Q78 | | | 월 1회 이상 열매체유 배관의 스트레이너를 청소하였는가? | |
| Q79 | | 배관 | 단열재가 열매체유 누출로 젖은 경우 교체하고 누출원인을 제거하였는가? | |
| Q80 | | | 주 1회 이상 연료 라인(유류)의 스트레이너를 청소하였는가? | |
| Q81 | | | 월 1회 이상 연료탱크 및 저장탱크 등의 드레인작업을 실시하였는가? | |
| Q82 | | 펌프 | 회전기계 등 진동이 발생하는 기계를 유지보수한 후 측정결과를 실시하였는가? | |
| Q83 | | 기타 | 부품별 수명을 조사하여 정기적으로 교체하는 등 관리하는가? | |
| Q84 | 기타 | 교육훈련 등 | 관련 근로자에게 정상·이상운전에 대한 교육훈련을 실시하고, 보일러 및 열매체유 위험에 대해 인식시켰는가? | |
| Q85 | | | | 정상·비상운전절차에 대한 내용이 수록된 운전지침서를 근로자가 상주하는 장소에 비치하였는가? |
| Q86 | | | | 화재진압담당자에게 비상차단밸브가 설치된 위치와 열매체유 특성에 맞는 적절한 화재 진압방법을 숙지시켰는가? |

나) 사고예방 효과 높은 항목 자문평가

열매체유 보일러 시스템은 사용 연료의 종류와 위험물의 용량, 운전조건 등에 따라 적용되는 법령의 종류와 범위가 달라진다. 앞서 도출한 86건의 확인 항목은 이러한 조건을 고려하지 않고 관계 법령과 기술지침 등이 요구하는 일반적인 사고예방 항목을 목록화한 것이다. 따라서 이를 모두 만족하였다고 해서 보일러 사용을 위한 법적 요구사항을 모두 만족한다거나 잠재적 위험이 전혀 없는 절대적 안전에 도달하는 것은 아니다. 그러나 각종 법령과 제조사가 권장하는 주요 안전장치와 위험물 취급작업에 대한 점검 사항을 포괄적으로 반영하였으므로 만족하는 문항이 많을수록 더 안전하다고 말할 수는 있을 것이다.

다만 사업장의 경영 환경에 따라 86건의 확인 항목을 단숨에 만족시키는 쉽지 않을 수 있다. 따라서 항목 중에서 우선적으로 반영해야 할 사항을 도출하고자 문항별 사고예방 효과에 대해 평가를 실시하였다. 자문평가는

화공안전 전문가 3명으로부터 각 항목별 사고예방 효과를 3점 척도(①미흡, ②보통, ③매우 큼)로 수집하고 평균값을 계산하는 방식으로 실시하였다. 3점 척도로 선택의 폭을 제한한 까닭은 사고예방 효과의 정도에 대한 명확한 정의와 기준이 없어 척도가 세분될수록 응답자의 선택이 어려워질 뿐만 아니라 개인의 성향이 반영될 수 있다고 판단하였기 때문이다. 또한 평가의 목적인 항목별 우선순위 도출에는 3점 척도에 대한 평균값을 계산하는 것만으로도 충분하다고 판단하였기 때문이다.

〈표 III-49〉는 확인 항목별 사고예방 효과에 대한 전문가 자문평가 결과이다.

〈표 III-49〉 확인항목별 사고예방 효과 자문평가 결과

| 순위 | 평가 점수 (평균 값) | 문항 개수 | 해당 문항 ¹⁰³⁾ |
|----|-----------------|----------|--|
| 1 | 3.0 | 21 | Q1, Q15, Q21, Q24~Q26, Q38, Q46, Q47, Q55, Q57, Q63, Q65, Q66, Q73, Q74, Q76, Q77, Q84~Q86 |
| 2 | 2.7 | 16 | Q2, Q9, Q13, Q16, Q23, Q27, Q29, Q43, Q45, Q48, Q50, Q54, Q64, Q67, Q70, Q79 |
| 3 | 2.3 | 19 | Q6, Q11, Q14, Q19, Q20, Q22, Q33, Q36, Q37, Q44, Q49, Q58, Q68, Q69, Q71, Q72, Q75, Q81, Q83 |
| 4 | 2.0 | 10 | Q5, Q7, Q39, Q40, Q42, Q52, Q59, Q78, Q80, Q82 |
| 5 | 1.7 | 9 | Q3, Q4, Q10, Q17, Q31, Q34, Q35, Q41, Q62 |
| 6 | 1.3 | 10 | Q8, Q12, Q18, Q28, Q30, Q51, Q53, Q56, Q60, Q61 |
| 7 | 1.0 | 1 | Q32 |
| 계 | 2.3 | 86 | - |

다) 최종 체크리스트 제안

사고예방 효과에 대한 전문가 자문평가 결과에 따라 1순위 그룹에 해당하는 문항을 최종 체크리스트로 〈표 III-50〉과 같이 제안하였다. 해당 체크

103) 〈표 III-43〉의 확인 항목별 번호

리스트는 사업장에서 가장 우선하여 만족시켜야 할 사항들이며 적극적인 사고예방 활동을 위해서는 추가적으로 체크리스트 항목을 점점 확대해 나가야 할 것이다.

〈표 III-50〉 열매체유 보일러 시스템 업무 흐름별 체크리스트

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 체크리스트 | 평가자 |
|-----|---------|------------|--|--------------------------|
| Q1 | 발주 및 계약 | 안전장치 | 발주서상에 안전장치에 대한 요구사항을 포함하거나, 견적서에 제안 여부 | 구매부서 연구설계부서 생산부서 |
| Q15 | 설계 | 안전밸브 | 최고사용압력 이상 압력 상승의 위험이 있는 부위(보일러 등)마다 안전밸브 설치 여부 | 보일러제조사 연구설계부서 생산부서 |
| Q21 | | | 안전밸브 전·후단 차단밸브의 설치 여부(설치불가) | |
| Q24 | | | 안전밸브로부터 배출되는 위험물질은 연소, 포집 및 회수 등의 방법으로 처리 여부 * 예를 들면, 플레어 소각·용기 포집 | |
| Q25 | | 압력제한 스위치 | 상용압력 이상에서 연소를 차단하는 압력제한스위치 설치 여부 | |
| Q26 | | 가스누설 자동차단기 | 가스를 연료로 사용하는 경우 가스 검지·경보 및 자동 가스 공급차단장치 또는 가스누설자동차단기를 설치여부 | |
| Q38 | | 팽창탱크 | 팽창탱크에 벤트를 설치한 경우 안전한 장소로 배출되도록 조치 여부 | |
| Q46 | 시공 | 일반 | 보일러 본체, 부대품, 배관, 배선 등 설계도면에 따라 정확하게 설치 여부 | 보일러제조사 생산부서 |
| Q47 | | 열매체유 주입 | 보일러 및 배관에 기밀시험을 하여 누출을 확인 여부 | |
| Q55 | 정상운전 | 연소 | 연소실 내부에 열매체유가 누출되거나 내화물이 손상되지 않았는지 확인 여부 | 생산부서 |
| Q57 | | 배관 | 열매체유 순환계통에 누유가 발생하지 않았는지 확인 여부 | |
| Q63 | | 제어패널 | 각종 제어장치의 설정값이 정상인지, 제어패널은 정상 작동하는지 확인 여부 | |
| Q65 | | 점화원 | 가연성물질이 체류할 수 있는 장소에서 불티·불꽃을 유발하는 기계·기구를 사용하는 것을 금지 여부 | |
| Q66 | 점검 | 열매체유 | 열매체유 열화를 확인하기 위한 정기적인 물성 분석(담당부서, 분석 주기 및 방법, 판정기준 등) 등 열매체유 관리 기준 마련 여부 | 생산부서 정비부서 열매체유제조사 |
| Q73 | 유지보수 | 일반 | 보일러 운전을 정지하고 작업을 실시하는지 확인 여부 | 생산부서 정비부서 |

| 번호 | 업무단계 | 장치 | 체크리스트 | 평가자 |
|-----|------|--------|--|-------------------|
| Q74 | | 열매체유 | 열매체유를 안전한 장소(비상용 저장탱크 등)로 완전히 제거하고 작업을 실시하는지 확인 여부 | 연구설계부서 열매체유제조사 |
| Q76 | | | 기존 열매체유 소실분을 다른 종류의 열매체유로 보충하는 경우 혼유의 물리적 특성을 열매체유 제조사로부터 보장받았는지 확인 여부 | |
| Q77 | | | 열매체유 종류를 변경하는 경우 설비가 새로운 열매유의 사용에 적합한지 기술적 검토를 실시 여부 | |
| Q84 | 기타 | 교육훈련 등 | 근로자에게 정상·이상운전에 대한 교육훈련을 실시하고, 보일러 및 열매체유 위험에 대해 주지시켰는지 확인 여부 | 생산부서 |
| Q85 | | | 정상·비상운전절차에 대한 내용이 수록된 운전지침서를 근로자가 상주하는 장소에 비치하였는지 확인 여부 | |
| Q86 | | | 화재진압 담당자에게 비상차단밸브가 설치된 위치와 열매체유 특성에 맞는 적절한 화재 진압방법을 숙지시켰는지 여부 | |

시스템적 접근방식의 분석

열매체유 보일러 화재·폭발사고는 <표 III-51>의 사고 3건에 대한 재해 조사의견서와 안전보건공단 홈페이지 게시 자료를 종합하여 업무 흐름별로 문제점을 분석하고, 업무단계별로 확인이 필요한 안전보건 목록(체크리스트)을 제시하였다. 앞의 건축물 붕괴사고 분석 사례에서는 시스템 구성요소별로 사고에 기여한 요인을 분석하였으나 열매체유 보일러 사고에서는 관련 정보가 부족하여 시스템 구성요소 각각에 대한 세부 분석은 생략하였다.

<표 III-51> 열매체유 관련 분석대상 사고 목록

| 연번 | 사고 개요 |
|----|--|
| 1 | 압착설비에 공급되는 열매배관에서 온도계 오지시를 확인하기 위해 온도센서를 분리하던 중 고온의(250 ℃) 열매체유가 피재자의 팔에 분출되어 화상을 입고, 일정시간(4~9분 추정) 후 누출된 열매체유에 의해 화재 발생 |
| 2 | 공장 내 RTO(폐가스 소각시설) 폐열회수 열매체유 보일러 열매 순환펌프의 베어링 파손에 의해 약 130 리터의 열매유가 누출된 후 화재 발생 |
| 3 | 공장 지하 보일러실 내에 설치된 열매체유 순환펌프의 베어링 파손으로 열매체유가 다량 누출되며 화재 발생 |

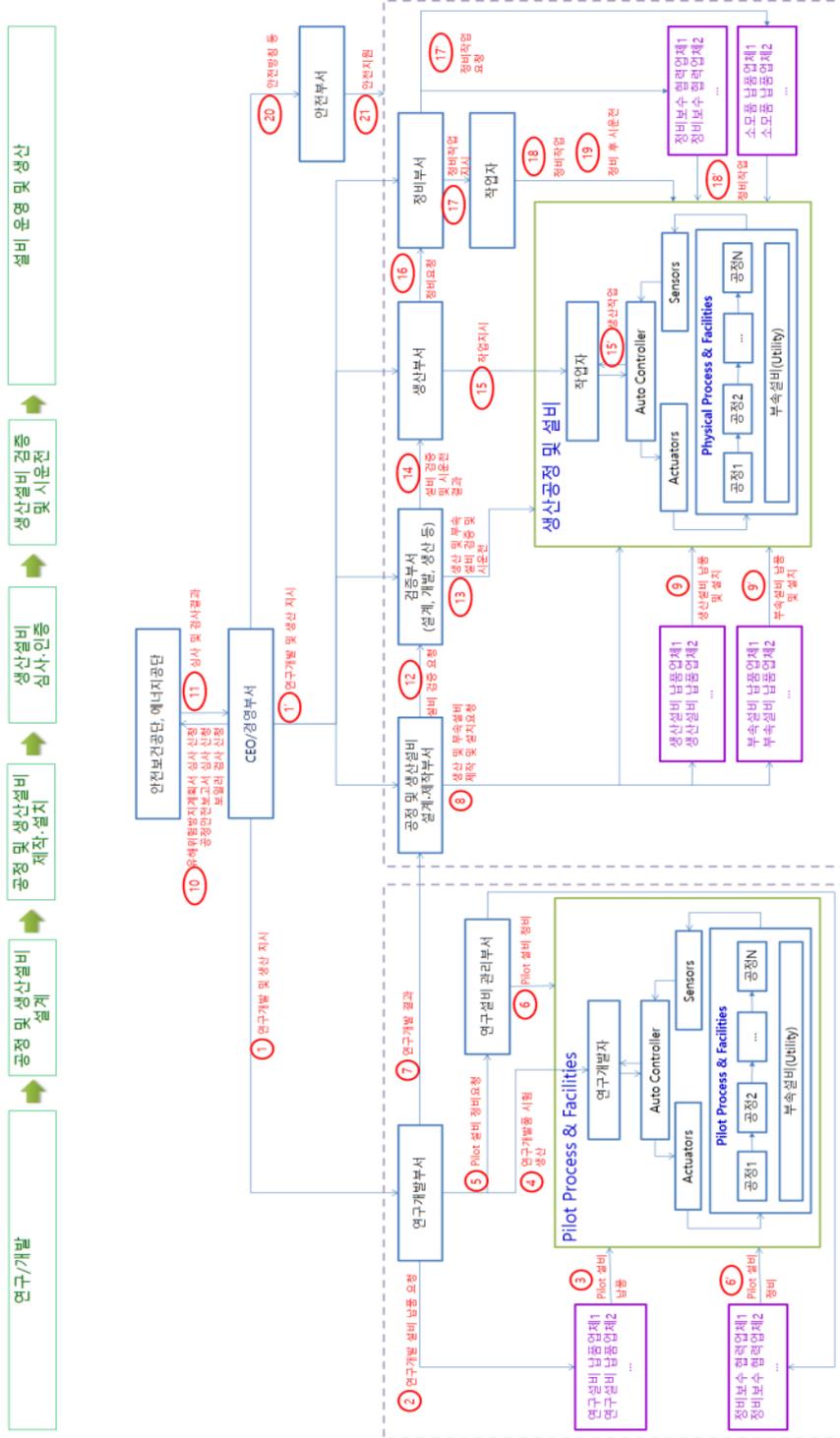
(1) 시스템 제어 구조

[그림 III-8]에는 열매체유에 의한 화재·폭발사고가 발생한 사업장의 주요 공정을 중심으로 작성한 제어 구조를 나타냈다. 제어 구조는 사고가 발생한 3건 사례의 공정을 통합하여 나타냈으며, 다음과 같은 구성요소로 구성됐다.

- 열매체유 설비 사용사업장의 CEO&경영부서, 연구개발부서, 공정 및 생산설비 설계·제작부서, 설비검수부서, 생산부서, 정비부서
- 열매체유 설비 사용사업장의 생산 및 정비부서 작업자
- 열매체유 설비 사용사업장의 시험 공정 및 설비
- 열매체유 설비 사용사업장의 생산 공정 및 설비
- 연구설비 납품업체, 연구설비 정비 협력업체
- 생산설비 및 부속설비 납품업체 및 정비 협력업체, 부품 납품업체
- 안전보건공단 및 에너지공단

(2) 업무 흐름

열매체유 설비를 사용하는 사업장의 주요 업무 흐름은 <표 III-52>와 같고, [그림 III-8]의 해당 업무별로 부여된 숫자를 표의 순서로 나타냈다. 주요 업무 내용을 표의 순서로 살펴보면, 연구·개발을 통해 생산 공정 및 설비를 설계하여 제작·설치하고, 이를 검수한 후 시운전을 거쳐 설비를 운영하여 생산작업을 수행하게 된다. 이 과정에서 유해위험방지계획서나 공정 안전보고서 제출 대상에 해당될 경우 안전보건공단의 심사를 받고, 일부 설비는 에너지공단의 검사를 받는다. 이후 실험설비나 생산설비에 대한 정비 사항이 발생하면 자체 정비부서나 협력업체를 통해 정비 작업을 수행하게 된다.



[그림 III-8] 열매체유 화재·폭발 사고 관련 시스템 제어 구조도

〈표 III-52〉 열매체유 설비 사용 사업장의 주요 업무 흐름

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|---|---|
| 1 | 연구개발 및 생산 지시 | 경영진 → 연구개발부서 |
| 2 | 신제품 연구개발용 설비 설계 | 열매체유 설비 사용사업장(연구개발부서) |
| | 연구개발용 설비 제작 및 납품 요청 | 열매체유 설비 사용사업장 → 연구설비 납품 협력업체 |
| 3 | 연구개발용 설비 납품 | 연구설비 납품 협력업체 → 열매체유 설비 사용사업장(연구개발부서) |
| | 연구개발용 설비 검수 | 열매체유 설비 사용사업장(연구개발부서) |
| | 연구개발용 설비 위험성평가 및 작업 지침서 작성 | 열매체유 설비 사용사업장(연구개발부서) |
| 4 | 연구개발품 시험생산 | 열매체유 설비 사용사업장(연구개발부서) |
| 5 | 연구개발용 설비 정비 요청 | 열매체유 설비 사용사업장 연구개발부서 → 연구설비 정비부서 |
| 6 | 연구개발용 설비 점검 | 열매체유 설비 사용사업장 연구설비 정비부서 |
| | 연구개발용 설비 정비 | 연구설비 정비부서 또는 협력업체 |
| 7 | 연구개발 결과 송부 | 열매체유 설비 사용사업장 연구개발부서 → 공정 및 생산설비 설계·제작부서 |
| 8 | 생산 및 부속설비 설계 | 열매체유 설비 사용사업장 공정 및 생산설비 설계·제작부서 |
| | 생산 및 부속설비 제작 및 설치 요청 | 공정 및 생산설비 설계·제작부서 → 생산설비 및 부속설비 납품업체 |
| 9 | 생산 및 부속설비 납품 및 설치 | 생산설비 및 부속설비 납품업체 → 열매체유 설비 사용사업장 |
| 10 | 공정안전보고서 및 유해위험방지 계획서 심사 신청, 보일러 등 검사 신청 | 열매체유 설비 사용사업장 → 안전보건공단, 에너지공단 |
| 11 | 공정안전보고서 및 유해위험방지 계획서 심사, 보일러 등 검사 | 안전보건공단, 에너지공단 |
| | 심사 및 검사 결과 송부 | 안전보건공단, 에너지공단 → 열매체유 설비 사용사업장 |

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|-----------------------|---|
| 12 | 설비검수 요청 | 열매체유 설비 사용사업장 공정 및 생산설비 설계·제작부서 → 검수부서 |
| 13 | 설비검수 및 시운전 | 열매체유 설비 사용사업장 검수부서 (설계, 개발, 생산, 정비 등) |
| 14 | 설비검수 및 시운전 결과 송부 | 열매체유 설비 사용사업장 검수부서 → 생산부서 |
| | 생산설비 위험성평가 및 작업지침서 작성 | 열매체유 설비 사용사업장 생산부서, 정비부서 |
| 15 | 생산작업지시 | 열매체유 설비 사용사업장 생산부서 → 작업자 |
| | 생산작업 | 열매체유 설비 사용사업장 생산부서 작업자 |
| 16 | 정비요청 | 열매체유 설비 사용사업장 생산부서 → 정비부서 |
| 17 | 정비작업 계획 수립 및 설비관리 | 열매체유 설비 사용사업장 정비부서 |
| | 정비작업 지시 | 열매체유 설비 사용사업장 정비부서 → 정비작업자 |
| | 정비작업 요청 | 열매체유 설비 사용사업장 정비부서 → 정비 협력업체 열매체유 설비 사용사업장 정비부서 → 부품 납품 협력업체 |
| 18 | 점검작업 | 열매체유 설비 사용사업장 정비부서 작업자 |
| | 정비작업 및 부품 교체 | 정비 협력업체 작업자 (부품 납품 협력업체 작업자) |
| 19 | 정비완료 후 시운전 | 열매체유 설비 사용사업장 정비부서 정비 협력업체 |
| 20 | 안전방침 | CEO(경영진) → 전부서(안전부서) |
| 21 | 안전지원 | 안전부서 → 전부서 |

(3) 업무 흐름에 따른 문제점

3건의 사고분석을 통해 열매체유 설비를 사용하여 제품을 생산하기 위한 연구·개발부터 실제 생산작업과 설비의 정비작업까지 업무가 진행되는 과정에서 안전과 관련된 문제점을 찾았고, 그 결과를 <표 III-53>에 통합하여 나타냈다. <표 III-52>와 함께 비교해 보면 어느 구성요소의 문제점인지 확인이 가능하며, 이러한 문제점을 기초로 열매체유 설비와 관련된 업무의 각 단계별로 안전보건 측면에서 평가해야 할 목록을 작성할 수 있다.

(4) 사고예방을 위한 체크리스트 제안

<표 III-54>에는 <표 III-53>에서 작성된 문제점을 기반으로 열매체유 설비를 사용하는 설비와 관련된 업무의 각 단계별로 안전보건 측면에서 평가해야 할 항목, 평가자, 평가시기 등을 도출하여 제시하였다. 평가 목록(체크리스트)의 평가자는 여러 기관(담당자)이 될 수 있다.

<표 III-53> 열매체유 사용 설비 관련 업무 흐름에 따른 문제점

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|---------------------|---|
| 1 | 연구개발 및 생산 지시 | - |
| 2 | 신제품 연구개발용 설비 설계 | <ul style="list-style-type: none"> • 시험생산설비에 대한 사전 안전성 검토 미흡 - 시험생산설비 도입을 위한 사전안전성 검토과정 미흡 • 시험생산설비 사용물질의 위험성 파악 미흡 - 시험생산설비에 사용하는 물질(열매체유)의 위험성 파악 미흡 |
| | 연구개발용 설비 제작 및 납품 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 설비 제작 및 납품 협력업체에 안전기준 제시 미흡 - 설비 제작 및 납품 협력업체에 관련 안전기준의 적절한 제시 미흡 ◦ 열매체유 사용 보일러에 부착되는 안전밸브 적용온도 ◦ 안전밸브 토출부의 적절한 위치 및 배출물질 처리방법 |
| 3 | 연구개발용 설비 납품 | <ul style="list-style-type: none"> • 최소 법적 기준에 적합하도록 설비 설계 및 설치 - 납품하는 보일러 및 열매체유의 위험성을 고려하지 않고 최소 법적 기준에 맞춰 설비 납품 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|---------------------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 안전밸브의 토출부가 실내를 향하도록 설치 ◦ 열매체유의 온도보다 낮은 온도기준으로 제작된 안전밸브 설치 |
| | 연구개발용 설비 검수 | <ul style="list-style-type: none"> • 시험생산설비 및 사용물질의 위험성 인식 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 보일러 및 열매체유의 위험성을 충분히 인식하지 못한 상태에서 설비 검수 ◦ 전기설비 관련 문제점 ◦ 안전밸브 사용온도 |
| | 연구개발용 설비 위험성평가 및 작업지침서 작성 | <ul style="list-style-type: none"> • 시험생산설비 관리 지침 내용 및 운영 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 시험생산설비 관리를 위한 지침 내용 및 교육훈련 미흡 ◦ 열매체유 교환 주기 불명확 ◦ 비상대응 지침 내용 부족 ◦ 열매체유 누출 시 대비 훈련 미흡 • 위험성평가 수행자의 역량 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 위험성평가 수행자의 설비 및 물질에 대한 전문성 부족 |
| 4 | 연구개발품 시험생산 | - |
| 5 | 연구개발용 설비 정비 요청 | - |
| | 연구개발용 설비 점검 | <ul style="list-style-type: none"> • 담당자의 전문성 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 시험생산설비 관리 담당자의 전문성 부족 • 체계적 정비수행 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 정비에 대한 기록관리가 체계적으로 되지 않음 ◦ 담당자의 역량에 따라 관리수준이 달라짐 ◦ 사용 빈도가 낮아 상태 중심 정비 수행 |
| 6 | 연구개발용 설비 정비 | <ul style="list-style-type: none"> • 설비 관리 협력업체의 위험성 인식 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 보일러 정비업체 및 열매체유 납품업체에서 설비의 문제점을 인식하고 개선안을 제시하지 못함 ◦ 안전밸브 토출부 방향의 문제점을 파악하였는지 여부 확인 불가 ◦ 열매체유의 위험성을 파악하고 관리 방안과 MSDS를 제시하였는지 확인 불가 |
| 7 | 연구개발결과 송부 | - |
| 8 | 생산 및 부속설비 설계 | <ul style="list-style-type: none"> • 화재 감지시설 부적정 <ul style="list-style-type: none"> - 적절한 화재 감지 시설 및 소화설비 미설치 ◦ 타는 냄새를 통해 화재 발생을 알아챈 • 생산설비 및 사용물질의 위험성 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 생산설비 및 부속설비에서 취급하는 물질(열매체유)의 위험성 파악 및 기술적 안전대책 미흡 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 열매유의 위험성을 파악하지 못함 ◦ 온도센서를 분리할 경우 하부의 열전대 보호관이 동시에 회전하여 열매체유가 누출될 수 있는 구조로 설계함(센서 고정방법 부적절) |
| | 생산 및 부속설비 제작 및 설치 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 열매체유 보일러 관련 안전 기준 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 1990년 열매체유 보일러 설치 당시 국내 안전기준 존재하지 않음 - 관행에 따라 열매체유 보일러 제작, 설치 ◦ 1999년 열매유 보일러에 관한 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE) 제정 |
| 9 | 생산 및 부속설비 납품 및 설치 | <ul style="list-style-type: none"> • 납품한 설비의 위험성 정보 제공 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 보일러 납품 및 설치업체가 납품하는 보일러 및 열매체유의 위험성을 인식하고 사용업체에 관리방안을 명확하게 공지하지 않음 |
| 10 | 공정안전보고서 및 유해위험방지 계획서 심사 신청, 보일러 등 검사 신청 | - |
| 11 | 공정안전보고서 및 유해위험방지 계획서 심사, 보일러 등 검사 | - |
| | 심사 및 검사 결과 송부 | - |
| 12 | 설비검수 요청 | - |
| 13 | 설비검수 및 시운전 | - |
| | 설비검수 및 시운전 결과 송부 | - |
| 14 | 생산설비 위험성평가 및 작업지침서 작성 | <ul style="list-style-type: none"> • 공정안전보고서 및 설비 관리 지침 작성 시 주요 사항 누락 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유 순환펌프 및 각종 계기류에 대한 설비 관리등급 및 점검·검사 주기 미설정 - 열매체유의 관리항목 및 교환 주기 미설정 • 설비관리지침의 설비 관리 등급 설정 기준 및 설비 점검 항목 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유를 사용하는 부속설비(순환펌프 및 RTO unit 등)의 관리 등급을 적절하게 지정하지 않아 예방점검을 수행하지 않음 - 열매체유 순환펌프에 대한 현장확인 항목에 순환펌프의 토출 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|-------------------|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 압력과 온도만을 확인하도록 하고 있음(소음과 진동 점검 미포함) • 정비작업 절차서 작성 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 온도센서의 구조 및 탈착과 관련하여 안전한 작업방법이 표준 작업절차서에 반영되지 않음(표준작업절차서의 열매체유 관리방법 및 교환주기가 제시되어 있는지는 확인할 수 없음) • 위험성평가 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유 및 열매체유 사용 설비의 위험성 파악 및 안전조치가 적절하게 이루어지지 않음 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 열매체유 배관의 열전대 보호관의 구조에 따라 발생할 수 있는 위험성이 파악되지 않음 ◦ 열전대보호관 구조에 따른 위험성 파악과 이 구조를 고려한 안전한 작업방법이 안전작업절차서(SOP)에 반영되지 않음 |
| 15 | 작업지시 | - |
| | 생산작업 | - |
| 16 | 정비요청 | - |
| 17 | 정비작업 계획 수립 및 설비관리 | <ul style="list-style-type: none"> • 설비 및 사용 물질에 대한 체계적 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 설비에 대한 유지 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 설비의 소음, 진동 등에 대한 일상점검 미흡 ◦ 보일러, 순환펌프 등에 대한 적절한 유지관리 미흡 - 열매체유 정기 관리 미실시 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 열매체유 점도, 산가, 수분 함량 등의 시험 미실시 - 열매체유 전체를 교체하지 않고 부분 보충하면서 장기간 사용 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 열매체유 열화가 진행되어 자연발화점이 최소 253°C까지 떨어짐 ◦ 열매체유 열화로 저비점 물질이 배관에 지속 축적됨 - 열매체유와 혼합 사용에 따른 안전성 검토 미실시 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 물리화학적 특성값이 다른 열매체유를 혼합하여 사용하도록 함 ◦ 열매체유 변경 시 PSM 변경관리지침에 따른 사전 위험성 검토 미실시 - 열매체유 물질안전보건자료 미비치 |
| | 정비작업 지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전교육 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 작업자에게 열매체유 물질안전보건자료 및 위험성 관련 안전 교육 미실시 • 취급 설비 및 취급 물질의 위험성을 파악하지 못함 <ul style="list-style-type: none"> - 취급 설비의 위험성을 파악하지 못함 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 정비 대상 설비의 구조에 따른 위험성을 파악하지 못함 - 취급 물질의 위험성을 파악하지 못함 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 열매유 장기간 사용에 따른 위험성과 누출 시 위험성을 파악하지 못함 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|---------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 열매체유의 주기적 열화도 측정·관리와 주기적 교체가 적정하게 이루어지지 않음 • 정비 작업 전 적절한 안전조치 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 정비 작업 시 적절한 안전조치를 하지 않음 ◦ 센서, 계기류 등의 교체 시 설비 운전정지 및 설비(열매체유) 냉각 등 사전 안전조치 미흡 |
| | 정비작업 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 정비 협력업체에 대한 작업 지시 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 정비 협력업체가 열매체유 순환펌프 베어링 및 실 교체 후 측정결과를 하도록 하지 않음 |
| 18 | 점검작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 취급 물질의 위험성 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유의 위험성 및 열매체유 누출 시의 위험성에 대한 인식 부족 • 설비 점검 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 일상점검에서 회전기기의 주요 점검항목인 소음과 진동에 대한 점검이 적정하게 이루어지지 않음 - 설비에 대한 주기적인 점검이 적정하게 이루어지지 않음 • 취급 설비 및 취급 물질의 위험성을 인식하지 못함 <ul style="list-style-type: none"> - 취급 설비의 구조에 따른 위험성을 파악하지 못한 상태에서 점검 작업 수행 - 설비 내부 물질(열매체유)의 누출에 따른 위험성을 파악하지 못한 상태에서 점검 작업 수행 |
| | 정비작업 및 소모품 교체 | <ul style="list-style-type: none"> • 취급물질 및 설비 위험성 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유 취급설비 및 열매체유 누출 시의 위험성 인식 부족 ◦ 열매체유 순환펌프 베어링 및 실 교체 후 측정결과 필요성 미인식 또는 간과 • 정비 결과 확인 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 정비 결과의 적정성 여부 확인 미흡 ◦ 베어링 및 Mechanical Seal 교체 후 측정결과 미실시로 베어링 완파 • 납품 물질에 대한 위험성 정보 제공 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 열매체유 납품 협력업체에서 열매체유 위험성 정보를 제대로 제공하지 않음 • 정비협력업체 및 자재 납품업체의 설비 및 물질 위험성 인식 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 보일러 정비 협력업체 및 열매체유 납품업체가 열매체유의 위험성을 파악하지 못함 |
| 19 | 정비완료 후 시운전 | <ul style="list-style-type: none"> • 정비 완료 후 안전점검 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 설비의 분해, 개조, 수리 후 재가동 전 안전점검 미흡 ◦ 열매체유 보일러 순환펌프의 베어링 및 실 교체 후 가동 전 점검 미실시 ◦ 펌프 측정결과 상태 확인 미실시(소음 및 진동 발생 여부 등) |

〈표 III-54〉 열매체유 사용설비의 업무 흐름별 체크리스트

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|----------------------------|--|--|------------------------------|
| 1 | 연구개발 및 생산 지시 | - | - | - |
| 2 | 신제품 연구개발용 설비 설계 | <ul style="list-style-type: none"> • 시험생산 설비 및 취급 물질에 대한 사전 안전성 검토 수행 적정 여부 | 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 신제품 연구개발용 설비 설계 전 |
| | 연구개발용 설비 제작 및 납품 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 사전 안전성 검토에서 발견된 위험성 감소 방안이 협력업체에 적정하게 전달되었는지 여부 | 연구개발부서 협력업체 | 연구개발용 설비 제작 및 납품 요청 시 |
| 3 | 연구개발용 설비 납품 | <ul style="list-style-type: none"> • 사업장의 현장 여건에 맞는 안전조치 반영 및 설치된 안전장치의 적정성 여부 | 납품협력업체 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 연구개발용 설비 제작 및 설치(납품) 시 |
| | 연구개발용 설비 검수 | <ul style="list-style-type: none"> • 담당자(검수부서 및 담당자)가 검수 대상 설비에 대한 전문지식과 경험을 갖추었는지 여부 | 납품협력업체 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 연구개발용 설비 검수 시 |
| | 연구개발용 설비 위험성평가 및 작업 지침서 작성 | <ul style="list-style-type: none"> • 설비에 대한 관리 지침 내용의 적정성 여부 • 위험성평가 수행자의 전문성 확보 여부 | 납품협력업체 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 연구개발용 설비 운용 전 |
| 4 | 연구개발품 시험생산 | - | - | - |
| 5 | 연구개발용 설비 정비 요청 | - | - | - |
| 6 | 연구개발용 설비 점검 | <ul style="list-style-type: none"> • 설비 점검 담당자의 전문성 확보 여부 • 점검 내역의 체계적 관리 여부 | 연구개발부서 정비부서 | 연구개발용 설비 운용 중 |
| | 연구개발용 설비 정비 | <ul style="list-style-type: none"> • 정비 대상 설비의 위험성 숙지 및 설명 여부 • 취급물질의 위험성 인식 및 관련 정보 숙지 여부 | 연구개발부서 정비부서 | 연구개발용 설비 운용 및 정비 전 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|--|---|--|------------------------|
| | | • 정비 내역의 체계적 관리 여부 | | |
| 7 | 연구개발결과 송부 | - | - | - |
| 8 | 생산 및 부속설비 설계 | <ul style="list-style-type: none"> • 신규 생산설비의 안전장치 및 화재·폭발 예방시설의 적정성 여부 • 생산설비 및 취급 물질에 대한 사전 안전성 검토 수행 적정 여부 • 생산설비(부속설비 포함)에서 사용하는 물질의 위험성 파악 여부 • 위험물질 사용 시 이에 대한 기술적 대책의 적정성 여부 | 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 생산 및 부속설비 설계 전, 중 |
| | 생산 및 부속설비 제작 및 설치 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 신규 도입 설비의 법적 기준 충족 여부 • 법적 기준 부재 시 적용한 안전기준의 적정성 여부 | 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 생산 및 부속설비 제작 및 설치 요청 전 |
| 9 | 생산 및 부속설비 납품, 설치 및 시운전 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산설비 및 부속설비를 납품한 업체로부터 설비 안전사항과 열매체유의 위험성을 명확하게 전달받았는지 여부 | 협력업체 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 생산부서 정비부서 | 생산 및 부속설비 납품 및 설치 후 |
| 10 | 공정안전보고서 및 유해위험방지계획서 심사 신청, 보일러 등 검사 신청 | - | - | - |
| 11 | 공정안전보고서 및 유해위험방지계획서 심사, 보일러 등 검사 | - | - | - |
| | 심사 및 검사 결과 송부 | - | - | - |
| 12 | 설비검수 요청 | - | - | - |
| 13 | 설비검수 | - | - | - |
| | 설비검수 및 시운전 결과 송부 | - | - | - |
| 14 | 생산 및 부속설비 위험성평가 및 작업지침서 작성 | <ul style="list-style-type: none"> • 신규 도입 설비 안전관리 방법의 적정성 여부 • 취급 화학물질의 위험성 파악 여부 • 취급 화학물질 관리방법의 적정성 | 협력업체 연구개발부서 설계제작부서 검수부서 | 생산설비 가동 전 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|-------------------|--|----------------------|-----------------|
| | | 여부 - 설비 관리를 위한 설비 관리 등급 설정 기준의 적정성 여부 - 설비 점검항목의 적정성 여부 • 작업지침서에 설비 제조 및 납품업체에서 권고하는 사항이 명확하게 반영되어 있는지 여부 • 위험성평가가 적정하게 수행되었는지 여부(참여자의 수준, 위험성 파악 및 개선 여부 등) | 생산부서 정비부서 | |
| 15 | 작업지시 | - | - | - |
| | 생산작업 | - | - | - |
| 16 | 정비요청 | - | - | - |
| 17 | 정비작업 계획 수립 및 설비관리 | • 지침 및 매뉴얼의 최신화 여부 • 설비, 공정, 물질 등 변경 전 안전성 검토 적정 실시 여부 • 설비 유지 관리 계획의 적정성 여부 • 설비 이력 관리의 적정성 여부 • 취급 물질 관리 방법의 적정성 여부 • 취급 물질의 MSDS 등 위험성 파악의 적정성 여부 | 생산부서 정비부서 | 설비 가동 전, 중 |
| | 정비작업 지시 | • 작업자 안전교육의 적정성 여부 - 교육 대상자, 내용, 방법 등 • 정비 대상 설비 및 취급물질의 위험성을 충분히 숙지하고 있는지 여부 • 정비 작업 전 안전조치의 적정성 여부 | 생산부서 정비부서 | 정비작업 수행 전 |
| | 정비작업 요청 | • 정비 협력업체에 대한 작업 내용의 적정성 여부 • 협력업체에 취급설비 및 취급물질의 위험성 정보 제공 여부 | 생산부서 정비부서 협력업체 | 협력업체의 정비작업 수행 전 |
| 18 | 점검작업 | • 취급설비 및 취급물질의 위험성 숙지 여부 - 생산설비의 주기적 점검 여부 - 부속설비의 주기적 점검 여부 - 일상점검 및 주기적 점검 결과의 적정성 여부 | 생산부서 정비부서 | 설비 가동 중 |
| | 정비작업 및 부품 교체 | • 정비 대상 설비 및 취급물질에 대한 위험성 숙지 여부 | 생산부서 정비부서 | 협력업체의 정비작업 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|------------|---|----------------------|-------------|
| | (자체정비 포함) | <ul style="list-style-type: none"> • 정비 대상 설비 및 취급물질의 위험성을 협력업체에 전달하였는지 여부 • 정비 완료 후 수행 결과의 적정성 확인 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 진동, 소음 발생 여부 등 • 납품한 설비 및 취급물질의 위험성 정보 및 관리방법 제공 여부(협력업체) | 협력업체 | 수행 전 |
| 19 | 정비완료 후 시운전 | <ul style="list-style-type: none"> • 정비 결과의 적정성 여부 • 설비 정비 후 안전점검 수행 여부, 점검 내용 및 결과의 적정성 여부 | 생산부서 정비부서 협력업체 | 설비 재가동 전 |

3) TMAH 급성중독사고 사례

전통적 접근방식의 분석

(1) 일반 사항

수산화테트라메틸암모늄(Tetramethylammonium hydroxide, TMAH)은 반도체, 디스플레이 제조산업에서 현상액으로 주로 사용되는 것으로, 피부를 통해 쉽게 흡수된 후 중추신경계를 손상시켜 호흡곤란 또는 심장마비로 인한 사망에 이르게 하는 급성독성물질이다.¹⁰⁴⁾

미국화재예방협회(National fire protection association, NFPA)의 위험성 코드에 따르면 TMAH의 인체유해성은 3등급으로 짧은 시간의 누출로도 일시적, 만성적인 부상 또는 사망에까지 이르게 하는 위험한 물질이다.

TMAH의 농도별 유해성은 <표 III-55>와 같다.¹⁰⁵⁾ 값은 각 TMAH 농도별 제품 공급사에서 제공하는 물질안전보건자료(MSDS)를 기준으로 작성한 것이다. TMAH의 농도가 2.38% 이상¹⁰⁶⁾이면 급성독성물질¹⁰⁷⁾에 해당하는

104) TMAH: LD₅₀ 34mg/kg(경구, 쥐) LD₅₀ 112mg/kg(경피, 쥐); 출처: 안전보건공단 수산화테트라메틸암모늄 One Page Sheet

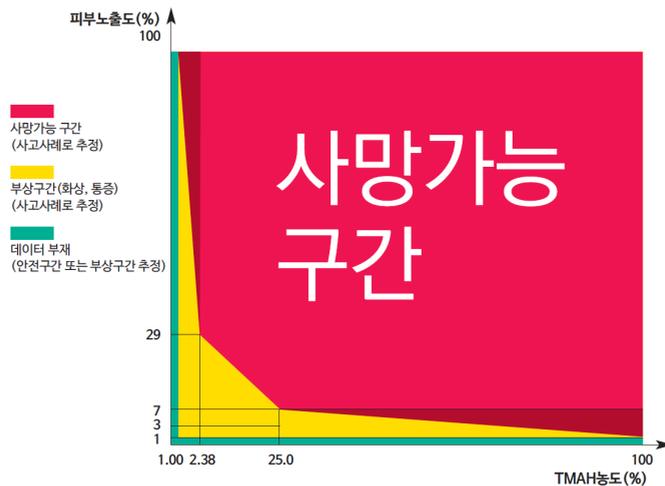
105) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021.

106) 2.38%이하의 TMAH는 냄새가 거의 나지 않거나 약한 암모니아 냄새가 나고, 피부

다. [그림 III-9]는 사고사례를 참고하여 TMAH 농도 및 피부 노출도에 따른 인체 영향을 정리한 것이다.¹⁰⁸⁾ TMAH의 농도가 높고 피부가 많이 노출될수록 화상·통증 등의 부상에서 사망까지 이르게 된다.

〈표 III-55〉 TMAH 농도별 MSDS 유해성 비교

| 농도 | 급성독성(LD ₅₀) (mg/kg Rat) | | 증기압 | 냄새 | 증기밀도 (공기=1) | pH | 그림문자 |
|-------|--|------|--|------------------|----------------|-------------------|------|
| | 경구 | 경피 | | | | | |
| 0.40% | 해당없음 | 해당없음 | 1.16 × 10 ⁻⁶ mmHg (at 25°C) | 약한 암모니아 냄새 | 자료없음 | 자료없음 | 해당없음 |
| 2.38% | 210 | 210 | | 암모니아 냄새 | 3.14 | 강알칼리 (pH 13이상) | |
| 20.0% | 25 | 25 | | | | | |
| 24.9% | 20 | 20 | | | | | |



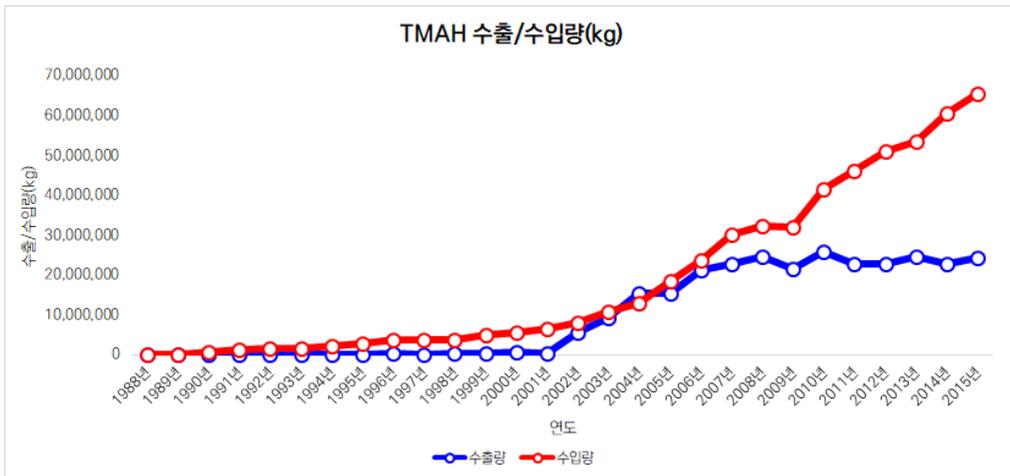
[그림 III-9] TMAH 농도별 인체 영향

노출 시 1~2도 화상 수준으로 취급자가 위험성을 파악하지 못할 수 있다.(출처: 미래전문기술원, 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북, 2021.)

107) 급성독성물질: LD₅₀(경구, 쥐)이 300 mg/kg 이하인 화학물질, LD₅₀(경피, 토끼 또는 쥐)이 1,000 mg/kg 이하인 화학물질(산업안전보건기준에 관한 규칙, 별표 1. 위험물질의 종류)

108) 안전보건공단, 미래전문기술원, 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북, 2021.

김형아 등(2016년)에 따르면, TMAH는 1988년부터 2015년까지 TMAH 수출량과 수입량이 [그림 III-10]과 같이 급증하고 있다.¹⁰⁹⁾ 이는 국내에서의 TMAH 제조 및 사용량이 증가하는 것을 의미하며, TMAH의 안전한 취급을 위한 제도적 접근대책이 필요하다고 제안한 바 있다.



[그림 III-10] TMAH 수출 및 수입량(kg, 1988년-2015년)

TMAH가 위험하더라도 대체 물질이 없기 때문에 산업의 특성상 반드시 사용해야 하는 사업장은 안전하게 관리 및 취급하는 것이 필요하다. <표 III-56>은 TMAH 취급 근로자의 보건관리지침에 정리된 TMAH 취급 시 조치사항이다.¹¹⁰⁾ 특히, TMAH는 강알칼리성 물질이기 때문에 짧은 접촉이라도 화상이 발생할 수 있어 불침투성 보호구 착용이 필수적이다.

109) 김형아, 김수근, 어원석 등. 급성중독 발생 화학물질 사업장 유통·관리 실태에 관한 조사 연구. 산업안전보건연구원. 2016.

110) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 근로자의 보건관리지침. 2015.

〈표 III-56〉 TMAH 취급 시 조치사항

| 구분 | 주요 내용 |
|-----------------------|---|
| 작업환경관리 및 개인보호구 착용 | <ul style="list-style-type: none"> • 밀폐설비나 국소배기장치 등의 환기장치를 설치해야 한다. • TMAH 취급근로자는 불침투성 보호복, 보호장갑, 보호장화, 보안경, 방독 마스크, 방호크림을 갖추고 이를 사용하도록 하여야 한다. • 용액주입, 교체, 배관점검 등 TMAH 용액에 노출될 가능성이 있는 경우에는 전면형 방독마스크와 불침투성 보호복을 착용해야 한다. • 취급 장소 주변에 즉시 사용 가능한 세면시설 및 목욕시설을 설치하여야 한다. |
| 예방조치 | <ul style="list-style-type: none"> • 원래의 용기에만 보관한다. • 분진, 흙, 가스, 미스트, 증기, 스프레이를 흡입하지 않는다. • 눈, 피부, 의복에 묻지 않도록 한다. • 취급 후에는 취급 부위를 철저히 씻어낸다. • TMAH가 함유된 제품을 사용할 때에는 먹거나, 마시거나 흡연하지 않는다. • 옥외 또는 환기가 잘 되는 곳에서만 취급한다. • TMAH가 함유된 제품을 사용할 때에는 불침투성 보호장갑, 보호복, 보안경, 호흡보호구를 착용해야 한다. |
| 유해성에 대한 정보 제공 및 교육 실시 | <ul style="list-style-type: none"> • TMAH를 제조하거나 수입하는 사업장은 물질안전보건자료(MSDS)를 한글로 작성하여 제공하여야 한다. • TMAH를 사용하는 사업장은 취급하는 장소에 한글로 작성된 MSDS를 비치해야 하고 게시하여야 한다. • TMAH의 용기 및 포장 등에는 한글로 작성된 경고표지를 부착하여야 한다. • TMAH 취급근로자에 대한 MSDS(물질의 특성 및 유해성·위험성, 적절한 보호구, 응급조치 요령, 급성중독 사례 등) 교육을 실시하여야 한다. |
| 사고 시 응급조치 | <ul style="list-style-type: none"> • 삼켰을 경우 입을 씻어내고 억지로 토하게 하지 않는다. 즉시 의사(의료기관)의 진찰을 받는다. • 피부에 묻었을 경우에는 다량의 비누와 물로 부드럽게 씻어낸다. • 의복에 묻었을 경우 즉시 벗거나 제거하고, 피부(또는 머리카락)를 물로 씻거나 샤워한다. • 흡입하였을 경우 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡하기 쉬운 자세로 안정을 취한다. • 눈에 묻었을 경우 몇 분간 물로 조심해서 씻어낸다. 콘택트렌즈는 제거하고 물로 계속 씻어낸다. • 조금이라도 불편함을 느끼면 바로 의료기관(의사)의 진찰을 받는다. |
| 건강관리 | <ul style="list-style-type: none"> • 건강진단 <ul style="list-style-type: none"> - TMAH를 취급중이거나 취급할 예정인 근로자는 특수건강진단의 실시가 권장된다. • 건강 진단 실시 후 조치 <ul style="list-style-type: none"> - 사업주는 건강 진단 결과 및 의사의 소견을 바탕으로 하여 해당 근로자의 |

| 구분 | 주요 내용 |
|----|---|
| | <p>근로 조건을 고려한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사업주는 근로자의 의견을 충분히 청취하고, TMAH의 유해성과 건강 영향에 관한 정보를 제공한다. • 건강 진단 결과의 보존 <ul style="list-style-type: none"> - 건강 진단을 실시한 때에는 그 결과에 따라 근로자 별로 기록을 작성하고 법에 의한 기간 동안 보존한다. • 건강 진단 결과의 통지 <ul style="list-style-type: none"> - 건강진단을 실시한 경우에는 건강 진단을 받은 근로자에 대하여 건강 진단 결과를 알린다. • 근로의 금지 <ul style="list-style-type: none"> - TMAH를 취급하는 작업에는 임신부 또는 18세 미만의 자가 종사하지 않도록 한다. |

(2) TMAH에 의한 국내·외 사고사례

〈표 III-57〉은 TMAH에 의한 국내·외 사고사례를 요약한 것이다.¹¹¹⁾ 대만의 사례는 1998년 1월부터 2009년 8월까지 대만 독극물관리센터에 보고된 결과이다.

2002년 7월에 발생한 사고는 세정배관을 새로 설치하기 위해 기존 물배관 절단 작업을 실시하려다 배관을 오인하여 20.0% 농도의 TMAH 배관을 절단하여 발생하였다. 배관절단 작업자의 얼굴과 몸에 TMAH가 비산되어 1명이 부상을 입었다.

2011년 12월에 발생한 사고는 8.75% 농도의 TMAH가 함유된 팔레트 세척제 샘플을 테스트하던 중 작업자 몸에 세척제가 묻었고 17분 후 샤워를 했지만 사망한 경우이다.

2012년 4월에 발생한 사고는 탱크 내부 세척작업 후 호스에 남아있던 24.8% 농도의 TMAH를 제거하기 위해 가압하던 중 작업자에게 TMAH가 누출된 것이다. 작업자는 즉시 몸에 묻은 TMAH를 씻어내었지만 사망하였다.

111) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021, C. Lin, C. Yang, J. Ger, et al. Tetramethylammonium hydroxide poisoning. Chemical Toxicology. Vol. 48. No. 3. pp. 213-217. 2010.

2021년 1월의 사고는 배관 해체 작업 중 배관 내에 있던 2.38% 농도의 TMAH가 작업자에게 분출되어 1명이 사망하고 5명이 부상을 입었다.

2021년 7월에 발생한 사고는 TMAH 경보기에서 알람이 발생하여 작업자가 배관점검을 하던 중 2.38% 농도의 TMAH가 작업자에게 비산되어 1명이 부상을 입었다.

대만에서 발생한 사고 중 4명의 부상자는 밸브점검 중에 발생하였고 사망자는 모두 25.0% 농도의 TMAH에 접촉된 것으로 확인되었다.

〈표 III-57〉 TMAH로 인한 국내·외 사고사례 요약

| 연번 | 국가 | 일자 | TMAH농도 | 작업상황 | 사고현황 |
|----|----|---------------------|--------------|-------------------|--------------|
| 1 | 한국 | 2002.07. | 20.0% | 배관절단 | 부상 1명 |
| 2 | 한국 | 2011.12. | 8.75% | 세척력 테스트 | 사망 1명 |
| 3 | 한국 | 2012.04. | 24.8% | 탱크 수리를 위한 잔류 액 제거 | 사망 1명 |
| 4 | 한국 | 2021.01. | 2.38% | 배관해체 | 부상 5명, 사망 1명 |
| 5 | 한국 | 2021.07. | 2.38% | 배관점검 | 부상 1명 |
| 6 | 대만 | 1986.01. ~ 2009.08. | 2.38%, 25.0% | 밸브검사 | 부상 9명, 사망 3명 |

(3) TMAH 관련 국내 법령 및 규정

〈표 III-58〉은 TMAH에 대한 국내 법령 중 주요 내용을 정리하였다. 유해인자 노출기준 설정 물질로 노출기준은 시간가중평균(Time weighted average, TWA)기준으로 1.0 mg/m³이다. 이러한 노출기준은 2018년 3월부터 지정된 것으로 확인된다. 모든 화학물질과 동일하게 TMAH도 물질 안전보건자료를 작성 및 제출하고 제공해야하며, 작업장 내 게시하고 작업자에게 교육을 해야 한다. 또한 도급인은 수급인에게 안전·보건상의 주의사항 등을 반드시 알려야 한다.

화학물질관리법에서는 TMAH가 1%이상 함유된 물질은 유독물질로 지정되어있다. 해당 규정은 2021년 6월부터 개정되었으며 이전에는 TMAH가 25%이상 함유한 물질에 대해서만 유독물질로 관리하였다. 유독물질이기 때문에 진열량·보관량·운반량 등이 규제되고 있다. 마지막으로 유해화학물질관리자를 선임해야하며, 작업자에게 유해화학물질 안전교육을 실시해야 한다.

〈표 III-58〉 TMAH 관련 국내 법령 및 규정 요약

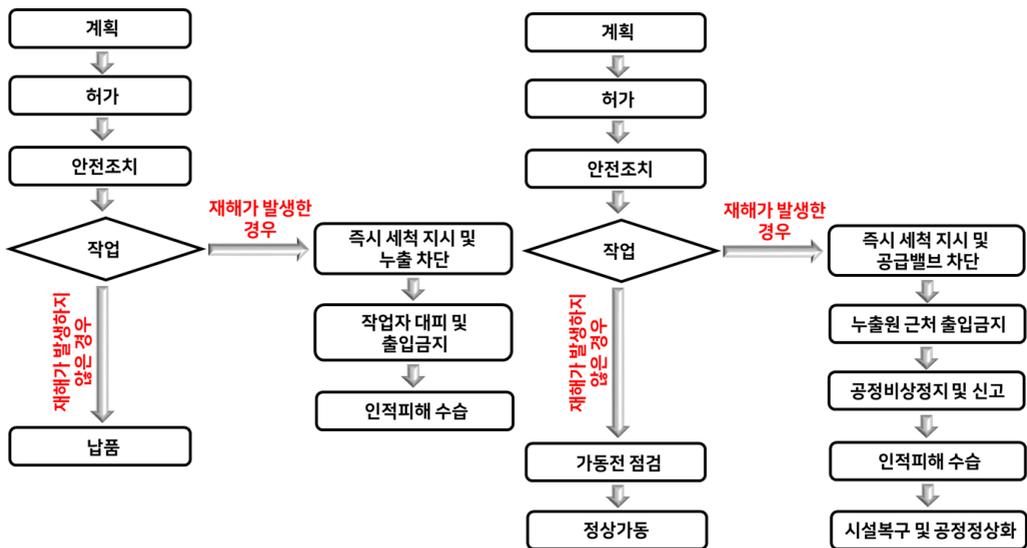
| 구분 | 주요 내용 |
|------------------------------|--|
| 산업안전보건법 ¹¹²⁾ | <ul style="list-style-type: none"> • 급성독성물질 • 위험성평가 실시 • 도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등 • 유해인자의 노출기준 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 노출기준: (TWA) 1.0 mg/m³ • 물질안전보건자료 작성 및 제출, 제공, 게시 및 교육 |
| 화학물질관리법 및 기타 ¹¹³⁾ | <ul style="list-style-type: none"> • 유해화학물질 취급기준 • 유해화학물질의 진열량·보관량 제한 등 • 유해화학물질 운반계획서 작성·제출 등 • 유해화학물질관리자 선임 및 유해화학물질 안전교육 • 유독물질: TMAH 및 이를 1%이상 함유한 혼합물 |

112) 고용노동부, 산업안전보건법, 법률 제18180호, 2021., 고용노동부, 산업안전보건법 시행규칙, 고용노동부령 제336호, 2021., 고용노동부, 산업안전보건기준에 관한 규칙, 고용노동부령 제337호, 2021., 고용노동부, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-48호, 2020.

113) 환경부, 화학물질관리법, 법률 제18420호, 2021., 환경부, 화학물질관리법 시행규칙, 환경부령 제968호, 2022., 화학물질안전원, 유해화학물질별 구체적인 취급기준에 관한 규정, 화학물질안전원고시 제2018-1호, 2018., 국립환경과학원, 유독물질의 지정고시, 국립환경과학원고시 제2021-103호, 2021., 환경부, 유독물질, 제한물질, 금지물질 및 허가물질의 규정수량에 관한 규정, 환경부고시 제2022-70호, 2022.

(4) TMAH 급성중독사고 분석

<표 III-57>과 같이 국내 사고사례는 크게 TMAH 세척력 테스트와 사용 중 유지보수 단계에서 발생한다. 이 연구에서는 TMAH 테스트와 유지보수 작업에 대해 분석을 수행하였고 작업 유형에 따라 파악된 작업 흐름도는 [그림 III-11]과 같다. 유지보수 작업은 TMAH가 많이 사용되는 반도체 및 디스플레이 공정을 대상으로 배관 유지보수를 예시로 작성하였다. TMAH는 피부를 통해 흡수되어 중추신경계를 손상시키기 때문에 사고가 발생하게 되면 세척이 가장 우선적으로 수행되어야 한다. 또한 작업자에게 'TMAH에 노출될 경우 죽는다.'라는 문구를 안내하여 위험성을 알릴 필요가 있다.



(a) 테스트 작업

(b) 유지보수 작업

[그림 III-11] TMAH 테스트 및 유지보수 작업 흐름도

〈표 III-59〉는 작업 흐름별 작업 내용과 담당자를 정리한 것이다. 담당자는 크게 사업주, 관리감독자, 작업자로 구분하였다. 먼저 세척력 테스트 작업은 TMAH를 납품하기 전 성능을 확인하는 것으로 테스트 중 TMAH가 작업자에게 접촉될 가능성이 높다. 이러한 사고를 예방하기 위해 계획단계에서는 TMAH에 작업자가 접촉되지 않는 작업방법과 순서(작업절차서)를 작성하고 MSDS를 통해 유해위험성과 세척시설 등 필요한 안전조치에 대해 확인해야 한다. 또한 사업주, 관리감독자, 작업자가 함께 위험성평가를 수행하여 놓친 부분이 없는지 추가적으로 점검할 필요가 있다. 그리고 반드시 작업자에게 작성한 작업방법 및 순서, 유해위험성과 안전조치에 대해 알려줘야 한다.

작업이 허가되면 작업장 내 모든 작업자에게 일정을 공유하여 작업 중 작업공간 내 출입을 금지해야 한다. 사업주는 반드시 관리감독자가 실시한 안전조치(보호구 착용 및 출입금지구역 지정)의 결과를 확인하고 작업을 시작해야 한다. 그리고 작업 시 작업자는 TMAH가 피부에 접촉되지 않도록 불침투성 보호구를 착용해야 하고 보호구는 사전에 성능을 확인할 필요가 있다. 작업 중에는 관리감독자가 상주하여 작업절차를 준수하는지 관리감독해야 하며 사고가 발생할 경우 즉시 재해자에게 세척을 지시하고 비상조치계획을 실시해야 한다. 그리고 작업계획에 없는 사항에 대해서는 절대적으로 수행을 금지해야 한다. 마지막으로 TMAH를 납품할 때에는 적절한 MSDS를 구매자에게 제공해야하며 사전에 MSDS의 정확도에 대해 사업주의 검토가 필요하다.

유지보수 작업은 TMAH가 있는 배관을 수리 또는 세척하는 것으로 배관 내에 체류하고 있는 TMAH가 비산 또는 누출되어 작업자에게 접촉될 가능성이 높다. 이러한 사고를 예방하기 위해 계획단계에서는 테스트 작업의 계획 단계 작업에 추가적으로 현장과 동일한 공정도면을 확인하여 유지보수 배관과 관련된 TMAH 공급배관을 차단하는 작업이 필요하다. 사고가 발생할 경우를 대비하여 긴급차단밸브의 위치 및 성능을 확인해야 한다. 또한

작업자에게 긴급차단밸브의 위치 및 성능에 대해 알려줘야 한다.

작업이 허가되면 테스트 작업과 동일하게 작업장 내 모든 작업자에게 일정을 공유하여 작업 중 작업공간 내 출입을 금지해야 한다. 그리고 테스트 작업과 다르게 TMAH 누출을 방지하기 위해 공급밸브를 차단하고 LOTO(Lock out, tag out)작업을 이행해야 한다. 유지보수 배관 내 TMAH를 제거하기 위해 환기 등을 실시하고 유해가스 및 산소농도를 확인하여 작업이 가능한 환경인지 확인해야한다. 이러한 환기 및 농도 측정은 작업 중에도 실시해야 한다. 작업 중에는 관리감독자가 상주하여 관리감독해야 하며, 사고가 발생할 경우 재해자에게 즉시 세척을 지시하고 비상조치 계획을 실시해야 한다. 여기서, 테스트 작업과 달리 유지보수 작업은 공급밸브를 차단하는 작업이 필요하다. 마지막으로 작업이 완료된 후, 설비가 안전하게 가동할 수 있는지 확인하는 단계가 필요하다. 확인이 완료되고 나면 사업주는 설비의 가동을 허가하고 작업자는 정상 가동을 시작한다.

〈표 III-59〉 업무 흐름에 따른 역할

| 작업내용 | | | |
|-----------------------|---|---|---|
| 작업 흐름 | 사업주 | 연구/공정/정비 관리감독자 | 작업자 |
| 계획 | <ul style="list-style-type: none"> • 일정 및 작업장소 확인 • MSDS 유해위험성, 작업방법 및 순서, 비상조치계획 확인 • 세척시설 위치 및 성능 확인 • 위험성평가 참여 및 개선조치 지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 일정 수립 및 작업장소 선정 • MSDS 유해위험성 확인 • 작업방법 및 순서 작성 • 비상조치계획 수립 • 세척시설 위치 및 성능 확인 • 위험성평가 실시 및 개선조치 이행 • 작업자에게 작업방법, 유해위험성 등 교육 | <ul style="list-style-type: none"> • 일정 및 작업장소 확인 • MSDS 유해위험성 확인 • 세척시설 위치 및 성능 확인 • 위험성평가 참여 • 작업방법, 유해위험성 등에 대한 교육 수료 |
| 허가 | <ul style="list-style-type: none"> • 유해위험요인 제거 확인 후 허가 | <ul style="list-style-type: none"> • 허가 후 작업장 내 모든 작업자에게 일정 공유 | - |
| 테스트 작업 안전 조치 | <ul style="list-style-type: none"> • 담당자가 수행한 안전조치 결과 확인 (보호구 및 출입금지) | <ul style="list-style-type: none"> • 작업자에게 작업방법과 유해위험성 등 주지 • 비상조치계획 확인 • 보호구 성능 확인 • 작업자에게 보호구 착용 안내 • 작업장 내 관계자 외 출입금지 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업방법과 유해위험성 확인 • 보호구 성능 확인 및 착용 • 작업과 관련되지 않은 작업자 출입금지 |
| 작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업완료 후 작업장 내 TMAH의 제거가 완료되었는지 확인 • 사고발생 시 <ul style="list-style-type: none"> - 재해자 외 다른 작업자 대피 및 출입금지 확인 - 작업장 내 누출된 TMAH 제거(배출) 확인 - 신고 및 인적피해 수습 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업방법 및 순서를 준수하는지 관리 감독 • 계획에 없는 상황에 대한선 수행 금지 • 작업완료 후 누출된 화학물질 확인 및 정출되지 않는 방법으로 화학물질 제거 • 사고발생 시 <ul style="list-style-type: none"> - 재해자에게 세척 지시 후 누출원 제거 - 재해자 외 다른 작업자 대피 및 출입 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업방법 및 순서(직업절차서)를 준수 해서 작업 • 계획에 없는 상황에 대한선 수행 금지 • 작업완료 후 누출된 화학물질 제거 및 정리정돈 • 사고발생 시 <ul style="list-style-type: none"> - 즉시 세척시설에 가서 세척하고 병원 진료 |

| 작업내용 | | | |
|----------|---|---|---|
| 작업 흐름 | 사업주 | 연구/공정/정비 관리감독자 | 작업자 |
| | | 금지 지시 - 작업장 내 누출된 TMAH 확인 및 정리 - 신고 및 인적피해 수습 | - 누출원 제거 - 재해자 외 다른 작업자 대피 및 출입 금지 |
| 납품 | <ul style="list-style-type: none"> MSDS 확인 및 제공 공정도면 및 일정 확인 MSDS 유해위험성, 작업방법 및 순서, 비상조치계획 확인 긴급차단밸브, 세척시설 위치 및 성능 확인 위험성평가 참여 및 개선조치 지시 | <ul style="list-style-type: none"> MSDS 확인 공정도면 확보 및 실제 현장과의 일치 여부 확인 및 수정 일정 수립 및 MSDS 유해위험성 확인 작업방법, 순서 및 비상조치계획 수립 긴급차단밸브, 세척시설 위치 및 성능 확인 위험성평가 실시 및 개선조치 이행 작업자에게 작업방법, 유해위험성 등 교육 | <ul style="list-style-type: none"> MSDS 제공 및 납품 공정도면 및 일정 확인 MSDS 유해위험성 확인 긴급차단밸브, 세척시설 위치 및 성능 확인 위험성평가 참여 작업방법, 유해위험성 등에 대한 교육 수료 |
| 허가 | <ul style="list-style-type: none"> 유해위험요인 제거 확인 후 허가 | <ul style="list-style-type: none"> 허가 후 작업장 내 모든 작업자에게 일정 공유 | - |
| 안전 조치 | <ul style="list-style-type: none"> 담당자가 수행한 안전조치 결과 확인 (보호구, 출입금지, LOTO) 유해가스 및 산소농도 측정결과 확인 | <ul style="list-style-type: none"> 작업자에게 작업방법과 유해위험성 등 주지 긴급차단밸브, 비상조치계획, 보호구 확인 작업장 내 관계자 외 출입금지 공급밸브 차단 및 LOTO 이행 배관 내 TMAH 제거(배출) 지시 및 확인 필요한 경우 맹판 설치 지시 및 확인 유해가스 및 산소농도 측정 및 보호구 착용 안내 | <ul style="list-style-type: none"> 작업방법과 유해위험성 확인 긴급차단밸브 및 세척시설 위치 확인 보호구 성능 확인 및 착용 작업과 관련되지 않은 작업자 출입금지 유해가스 및 산소농도 측정결과 확인 |
| 유지 보수 작업 | | | |

| 작업내용 | | | |
|--------|--|--|--|
| 작업 이름 | 사업주 | 연구/공정/정비 관리감독자 | 작업자 |
| | <ul style="list-style-type: none"> • 사고발생 시 <ul style="list-style-type: none"> - 재해자 외 다른 작업자 대피 및 출입 금지 확인 - 작업장 내 누출된 TMAH 제거(배출) 확인 - 공정비상정지 및 신고 - 인적피해 수습 - 시설복구 및 공정정상화 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업방법 및 순서를 준수하는지 관리 감독 • 환기 실시, 유해가스 및 산소농도 측정 • 계획에 없는 상황에 대한선 수행 금지 • 사고발생 시 <ul style="list-style-type: none"> - 재해자에게 세척 지시 후 공급밸브 차단 - 재해자 외 다른 작업자 대피 및 출입 금지 지시 - 작업장 내 누출된 TMAH 확인 및 정리 - 공정비상정지 및 신고 - 인적피해 수습, 시설복구 및 공정정상화 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업방법 및 순서(작업절차서)를 준수 해서 작업 • 계획에 없는 상황에 대한선 수행 금지 • 사고발생 시 <ul style="list-style-type: none"> - 즉시 세척시설에 가서 세척하고 병원 진료 - 공급밸브 차단 - 재해자 외 다른 작업자 대피 및 출입 금지 |
| 작업 | | | |
| 가동전 점검 | <ul style="list-style-type: none"> • LOTO 해제 허가 • 내압시험 결과 등 설비 안전성 확보 확인 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업완료 확인 후, LOTO 해제 및 확인 • 내압시험 지시 및 안전장치와 자동제어 기능 확인 및 보완 | <ul style="list-style-type: none"> • LOTO 해제 • 내압시험 실시 |
| 정상 가동 | <ul style="list-style-type: none"> • 설비 작동 허가 | <ul style="list-style-type: none"> • 출입금지 해제 및 설비 작동 | <ul style="list-style-type: none"> • 정상작업 수행 |

〈표 III-60〉은 국내에서 TMAH에 의해 발생한 사고사례와 〈표 III-59〉의 내용을 비교하여 사고발생의 주요 원인과 대책을 우선순위별로 작성한 것이다. 우선순위는 사고발생에 직접적으로 영향을 주고 예방할 수 있는 원인과 대책을 높은 순위로 정하였다. 〈표 III-60〉의 원인을 보면 모두 작업 전 단계인 계획 및 안전조치 단계에서 수행되어야 할 사항들이다.

우선순위는 작업절차, 교육, 보호구, 세척시설 순으로 정하였다. 여기서 사업주, 관리감독자, 작업자가 TMAH의 유해위험성에 대해 알아야 적절한 대처가 가능하다고 판단하였기 때문에 작업절차와 교육을 우선순위로 선정하였다. 실제로 2011년에 발생한 사고는 TMAH 제조업체이지만 유해위험성에 대해서는 알지 못한 것으로 확인되었다.¹¹⁴⁾ 보호구와 세척시설은 모두 사고발생 시 피해를 최소화할 수 있지만 [그림 III-9]에 따르면 피부 노출도가 낮을수록 사망위험이 낮기 때문에 보호구를 우선순위로 선정하였다.

작업절차의 경우 대부분의 사고사례에서 작성되지 않은 것으로 확인되었다. 작업자들은 작업절차가 없었기 때문에 TMAH가 노출되는 작업방법으로 작업을 진행하거나 TMAH를 손으로 닦는 등의 위험한 행동을 한 것으로 확인되었다. 이를 예방하기 위해 작업절차의 작성이 필요하며 작업절차는 MSDS, 비상조치계획, 위험성평가 결과 등을 반영하여 작성되어야 한다. 작업절차의 적정성에 대해 사업주가 확인할 필요가 있다. 작성된 작업절차를 사업주는 작업자에게 교육하여 안전한 작업방법과 비상시 대응방법에 대해 주지시켜야 한다.

모든 사고사례에서 작업자는 불침투성 보호구를 착용하지 않고 일반 안전모와 보안경, 방독마스크 등을 착용한 것으로 확인되었다. 불침투성 보호구 미착용의 이유는 유독물질 기준을 통해 알 수 있다. TMAH에 대한 유독물질 기준은 2002년에 발생한 사고 이후 농도가 25% 이상인 TMAH로 한정되었다. 하지만 〈표 III-57〉에서 볼 수 있듯이 2002년 이후에 발생한 사

114) 김형아, 김수근, 어원석 등. 급성중독 발생 화학물질 사업장 유통·관리 실태에 관한 조사 연구. 산업안전보건연구원. 2016.

고에서의 TMAH의 농도는 모두 25% 이하에서 발생하였고 해당 규정은 2021년 6월까지 유지되었다. 즉, TMAH로 인한 사고는 25% 이하의 농도에서 발생하였지만 규정이 개정되지 않아 유독물질로 분류되지 못하였고 그로 인해 일반 작업으로 구분되어 적합한 보호구를 지급받지 못한 것으로 파악된다. 현재는 규정이 개정되어 농도가 1% 이상인 TMAH는 모두 유독물질로 인정되었지만, TMAH로 인한 사고가 25% 이하의 농도에서 발생했음에도 불구하고 사전에 개정되지 못했다는 한계가 있었다.

TMAH는 피부를 통해 쉽게 흡수되어 중추신경계가 손상되기 때문에 접촉 이후 가능한 빨리 씻어내야 한다. 하지만 대부분의 사고사례에서 작업장 내 세척시설이 있지만 작업 장소와 멀리 떨어져 있어 빠른 대처가 불가능한 상황이었다. 따라서 빠르게 TMAH를 세척할 수 있도록 간이 세척시설 또는 세척시설 근처에서 작업을 진행해야 하며, 작업 전 세척시설의 위치를 작업자에게 반드시 알려 접촉하게 되면 즉시 세척할 수 있도록 해야 한다.

결론적으로 사업장에서 사고를 예방할 수 있는 단계는 작업 전 단계이기 때문에 반드시 사업주와 관리감독자가 작업 전에 수행해야 하는 사항들을 이행하고 검토해야 한다.

그 외에 국가적인 측면에서 산재를 사전에 예방하기 위해서는 먼저 화학물질 관리시스템 및 작업환경실태조사 등을 개선할 필요가 있다. 실제로 2014년 전국사업장 작업환경실태조사 대상이 아닌 사업장에서 직업병이 발생한 사례가 있다.¹¹⁵⁾ 이는 직업병 예방을 위한 시스템에 사각지대가 존재한다는 것을 의미한다. 현재 국내 화학물질 통계조사는 2년, 작업환경실태조사는 5년을 주기로 시행되고 있다. 하지만 신규 화학물질은 지속적으로 증가하고 있기 때문에 실효성 높은 관리체계를 구축하기 위해서는 보다 짧은 주기로 모니터링을 할 필요가 있다. 급성중독사고가 발생한 메탄올, TMAH, 불산, 황산 등에 대해서는 제조단계에서부터 사용단계까지 핵심 위

115) 김형아, 김수근, 어원석 등. 급성중독 발생 화학물질 사업장 유통·관리 실태에 관한 조사 연구. 산업안전보건연구원. 2016.

험요인을 사업주에게 전달하고 관리하는 등의 체계가 필요하다.

화학물질로 인한 사고는 대부분 유해위험성과 안전조치에 대한 인식 부재로 발생하는 경우가 많다. 따라서 화학물질을 사용하는 사업주에게 화학물질에 대한 정확한 정보를 제공하는 체계가 필요하며 현재는 MSDS를 통해 정보가 제공되고 있다. 하지만 MSDS는 어려운 전문용어의 사용 외에 많은 정보가 포함돼 있어, 화학물질을 사용하는 소규모 사업장에서 MSDS를 이해하고 필요한 조치를 이행하기에는 어려움이 있다. 따라서 제조업체에서는 MSDS를 제공할 때, MSDS에 명시되어있는 정보 중 주요 유해사항과 취급 시 주의사항 등을 요약하여 사업주에게 추가로 제공하는 방법이 필요하다.

마지막으로 급성중독사고가 발생한 화학물질은 대부분 휘발성이 강하거나, 세척력이 우수하거나, 냄새가 있는 것으로 확인된다. 따라서 사업장에서 취급하고 있는 화학물질이 위의 사항에 하나라도 해당된다면, 해당 화학물질을 위험하다고 판단하고 안전한 취급 및 작업방법을 확인할 필요가 있다.

〈표 III-60〉 TMAH 사고사례 분석 결과

| 순위 | 원인 | 대책 |
|----|---|---|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업방법, 비상조치계획 등 작업절차 미작성 - TMAH에 접촉하지 않는 작업방법을 고려하지 않음 - 작업자가 TMAH에 접촉했지만 세척 지시를 하지 않고 접촉된 작업자가 직접 THAM을 닦아 사망에 이름 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업절차 작성 - MSDS 내 유해성 및 위험성, 비상조치계획, 위험성평가 결과 등을 반영하여 작업 절차 작성 - 사업주의 확인 의무 필요 |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • 교육 미실시 - 작업자는 TMAH의 유해성, 관리방법 등을 전혀 알지 못하여 세척의 필요성을 모름 | <ul style="list-style-type: none"> • 교육 실시 - 사업주, 작업자 등 작업과 관련한 모든 사람에게 TMAH의 유해성과 관리방법 등 주의사항을 교육 필요 |

| 순위 | 원인 | 대책 |
|----|--|---|
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> • 보호구 미지급 및 미착용 - TMAH가 누출 및 비산되었을 때, 재해자의 피해를 최소화하기 위해 필요하지만 대부분 보호기능이 없는 면장갑 등 사용 | <ul style="list-style-type: none"> • 보호구 지급 및 착용 - 불침투성 보호구 지급 - 작업 전, 보호구 성능 확인 필요 - 작업 중, 보호구 착용 권고 |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> • 세척시설 - 간이 세척시설이 없음 - 세척시설이 있지만 작업장으로부터 약 20 m, 50 m 이격된 거리에 있어 빠른 대처가 불가능함 | <ul style="list-style-type: none"> • 세척시설 설치 - 작업장소와 가까운 곳에 간이 세척시설 설치 - 세척시설 표지판 및 방향 표지판 부착 |

(5) TMAH 취급 사업장 안전관리 체크리스트 제안

TMAH로 인한 사고사례 분석 결과를 통해 작업 전 조치로 사고를 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 이 연구에서는 작업 전 확인사항에 대해 체크리스트를 작성하였고 내용은 <표 III-61>, <표 III-62>와 같다. 작성된 체크리스트는 사고사례를 통해 확인된 사항으로 확인되지 않은 유해위험성 및 대책 등은 지속적으로 갱신과정이 필요하다. 또한 사업장의 현장 적용성을 위해 실제 현장의 작업 순서에 따라 수정하여 사용한다.

<표 III-61>은 TMAH 제조사업장에서 성능을 테스트하는 단계, <표 III-62>는 TMAH 사용사업장에서 구매 및 배관을 유지·보수하는 단계에 대한 체크리스트이다. 체크리스트에서 구매 단계는 MSDS와 유해위험성을 확인하는 것으로 구분하였고, 성능 테스트 및 배관유지보수는 <표 III-60>의 우선순위별로 정리하고 그 외 사항은 기타로 구분하였다.

작업절차에서 위험성평가는 반드시 사업주와 작업자가 모두 참여해야 하고 작업절차 및 교육 결과에 대해서는 사업주가 확인하여야 한다. 그리고 작업방법은 작업자에게 TMAH가 누출 및 비산되지 않아야 하며, 배관유지보수의 경우 반드시 현장과 동일한 공정도면을 확보하여 작업방법과 순서를 작성해야 한다. 이러한 사항에 대해 최종적으로 사업주가 확인하여 누락

된 부분이 없는지 추가적으로 검토하는 단계가 필요하다.

교육단계에서는 작업자가 화학물질에 대한 유해위험성을 정확하게 파악하고 있는지 확인하는 절차가 필요하다. 그리고 작업절차와 동일하게 교육 결과에 대해 사업주가 확인하여 제대로 수행되었는지 검토하는 단계가 필요하다.

보호구는 TMAH로부터 피부를 보호할 수 있는 보호구를 착용해야 하며, 세척시설은 작업 장소 근처에 위치하여 노출 즉시 세척할 수 있어야 한다. 이때, 세척시설의 위치를 반드시 작업자에게 확인시켜야 하고 노출 즉시 세척시설로 가야 한다고 안내해야 한다. 그 외, 작업 중에는 관계자 외 출입을 금하고 작업 후에는 작업장 내에 누출된 TMAH가 있다면 제거해야 한다.

마지막으로 구매단계에서는 MSDS 내용을 확인해야 하며 제조업체는 유해위험성, 안전조치 등에 대해 전달해야 한다. 사용업체는 화학물질이 휘발성이 강하거나, 세척력이 우수하거나, 냄새가 난다면 유해위험물질로 간주하여 주의해서 취급해야 한다.

〈표 III-61〉 TMAH 제조사업장 체크리스트

| 구분 | | 항 목 | 평가자 |
|-----------|----------|---|------------------------|
| 성능 테스트 | 작업 절차 | • MSDS의 정보 확인(유해위험성, 안전조치, 주의사항 등) | 연구부서/ 공정부서/ 정비부서 |
| | | • 유해위험성 파악 및 유해위험사항 제거(사업주, 작업자 참여) | |
| | | • 비상조치계획 수립 - 사고 발생 후 대응 방법 - 세척시설 위치 확인 - 대피경로 확보 | 연구부서/ 공정부서 |
| | | • TMAH에 접촉하지 않는 작업방법 및 순서 선정 • 사업주 확인 | |

116) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021
 117) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021

| 구분 | 항 목 | 평가자 | |
|-----------|-----------------------------|--|---------------------------|
| 성능 테스트 | 교육 | • MSDS의 정보 교육(유해위험성, 안전조치, 주의사항 등) | 연구부서/ 공정부서 |
| | | • 비상조치계획 교육 | |
| | | • 작업방법 및 순서(작업절차서) 교육 | |
| | | • 작업자가 이해했는지 확인 | |
| | | • 사업주 확인 | |
| | 보호구 116) | • TMAH의 접촉을 방지할 수 있는 수준의 보호구인지 확인 - 화학물질용 안전화·안전장갑·전면형 방독마스크·보호복 | 연구부서/ 공정부서 |
| | | • 보호구 착용 시 작업자가 TMAH에 노출되지 않는지 확인 | |
| | | • 보호구 성능 확인 - 안전장갑: 1~6 Class, 숫자가 클수록 성능 우수 - 작업공간이 밀폐(1형식), 직접 노출 우려(3형식 이상) | |
| | | • 작업자가 보호구 착용한 상태로 작업하는지 확인 | |
| | 세척 시설 117) | • 간이세척시설·세척시설이 작업 장소 근처에 있는지 확인 - 10초 이내 도달 거리, 조작은 원터치로 1초 이내 | 연구부서/ 공정부서 (해당 작업자) |
| | | • 세척시설의 성능 확인 | |
| | | • 작업자가 세척시설의 위치 확인 | |
| | | • 세척시설 표지판 설치 | |
| 기타 | • 작업 중 작업 장소 내 관계자 외 출입금지 | 연구부서/ 공정부서 | |
| | • 작업 후 작업장 내 TMAH 제거(배출) 확인 | | |
| | • MSDS 내용 확인 및 주요사항 정리 | | |

〈표 III-62〉 TMAH 사용사업장 체크리스트

| 구분 | | 항 목 | 평가자 |
|----------------|--|--|--|
| 구매 | MSDS | <ul style="list-style-type: none"> • MSDS 내용 확인 • 제조업체로부터 유해위험성, 안전조치, 주의사항 등을 안내 받음 | 공정부서/ 정비부서 (도급작업의 수급인) |
| | 유해 위험성 확인 | <ul style="list-style-type: none"> • 휘발성이 강하거나, 세척력이 우수하거나 냄새가 나는지 확인(하나라도 해당되면 유해위험물질로 간주) | |
| 배관 유지 보수 | 작업 절차 118) | <ul style="list-style-type: none"> • MSDS의 정보 확인(유해위험성, 안전조치, 주의사항 등) - (도급작업) 도급인 공정부서가 수급인에게 관련 정보 전달 | 공정부서/ 정비부서 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 현장과 동일한 도면 등 공정안전자료 확보 및 최신화 - (도급작업) 도급인이 정보를 제공하여 수급인으로부터 작업 도면 등 확보 | 공정부서/ 정비부서 (도급인 공정부서/ 정비부서) |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 유해위험성 파악 및 유해위험사항 제거(사업주, 작업자 참여) | 공정부서/ 정비부서 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 비상조치계획 수립 - 사고발생 후 대응 방법(공급밸브 차단 등) 마련, 세척시설 위치 확인, 긴급차단밸브 위치 확인, 대피 경로 확보 | 공정부서 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 작업 중 배관 내 TMAH가 체류하지 않는 작업방법 및 순서 선정 - LOTO 이행(도급작업: 도급인) - 작업 후 사업주 승인 시 LOTO 해제(도급작업: 도급인) - 작업 전 배관 내 TMAH 제거(배출), 필요한 경우 맹판 설치 - 작업 전·중 환기, 유해가스 및 산소농도 측정 | 공정부서/ 정비부서 (도급작업인 경우 도급인 해당부서가 관리감독 및 통제, LOTO 이행·해제는 도급인 해당부서) |
| | <ul style="list-style-type: none"> • 사업주 확인 | 해당 사업주 | |

118) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021

119) 안전보건공단, 미래전문기술원. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021

| 구분 | 항 목 | 평가자 | |
|-----------------------------------|-------------|--|--|
| 배관 유지 보수 | 교육 | • MSDS의 정보 교육(유해위험성, 안전조치, 주의사항 등) | 공정부서 (도급작업인 경우 도급인의 정보 전달 등 협조 하에 수급인) |
| | | • 비상조치계획, 작업방법 및 순서(작업절차서) 교육 | |
| | | • 작업자가 이해했는지 확인 | |
| | | • 사업주 확인 | |
| | 보호구 119) | • TMAH의 접촉을 방지할 수 있는 수준의 보호구인지 확인 - 화학물질용 안전화·안전장갑·전면형 방독마스크·보호복 | 공정부서 (도급작업인 경우 수급인) |
| | | • 보호구 성능 확인 - 안전장갑: 1~6 Class, 숫자가 클수록 성능 우수 - 작업공간이 밀폐(1형식), 직접 노출 우려(3형식 이상) | |
| | | • 작업자가 보호구 착용한 상태로 작업하는지 확인 | |
| | 세척 시설 | • 간이 세척시설 또는 세척시설이 작업 장소 근처에 있는지 확인 - 10초 이내 도달 거리, 조작은 원터치로 1초 이내 | 공정부서 (도급작업의 수급인) |
| | | • 세척시설의 성능 확인 | 공정부서 |
| | | • 작업자가 세척시설의 위치 확인 | 해당 작업자 |
| | | • 세척시설 표지판 설치 | 공정부서 |
| | 기타 | • 작업 중 작업 장소 내 관계자 외 출입금지 | 공정부서/ 정비부서 |
| • 작업 후 작업장 내 누출된 TMAH 확인 및 제거(배출) | | | |
| • 가동 전 안전장치 및 자동제어 기능 확인 및 보완 | | | |

시스템적 접근방식의 분석

TMAH 누출에 의한 급성중독사고는 <표 III-63>의 2건의 사고에 대한 재해조사의견서와 안전보건공단 홈페이지에 게시된 자료를 종합하여 업무 흐름별로 분석하고, 작업 단계별로 확인이 필요한 안전보건 목록(체크리스트)을 제시하였다. TMAH 사고 발생 후 오랜 시간이 경과하여 정보를 충분

히 확보할 수 없었기 때문에 시스템 구성요소 각각에 대한 세부 분석은 생략하였다.

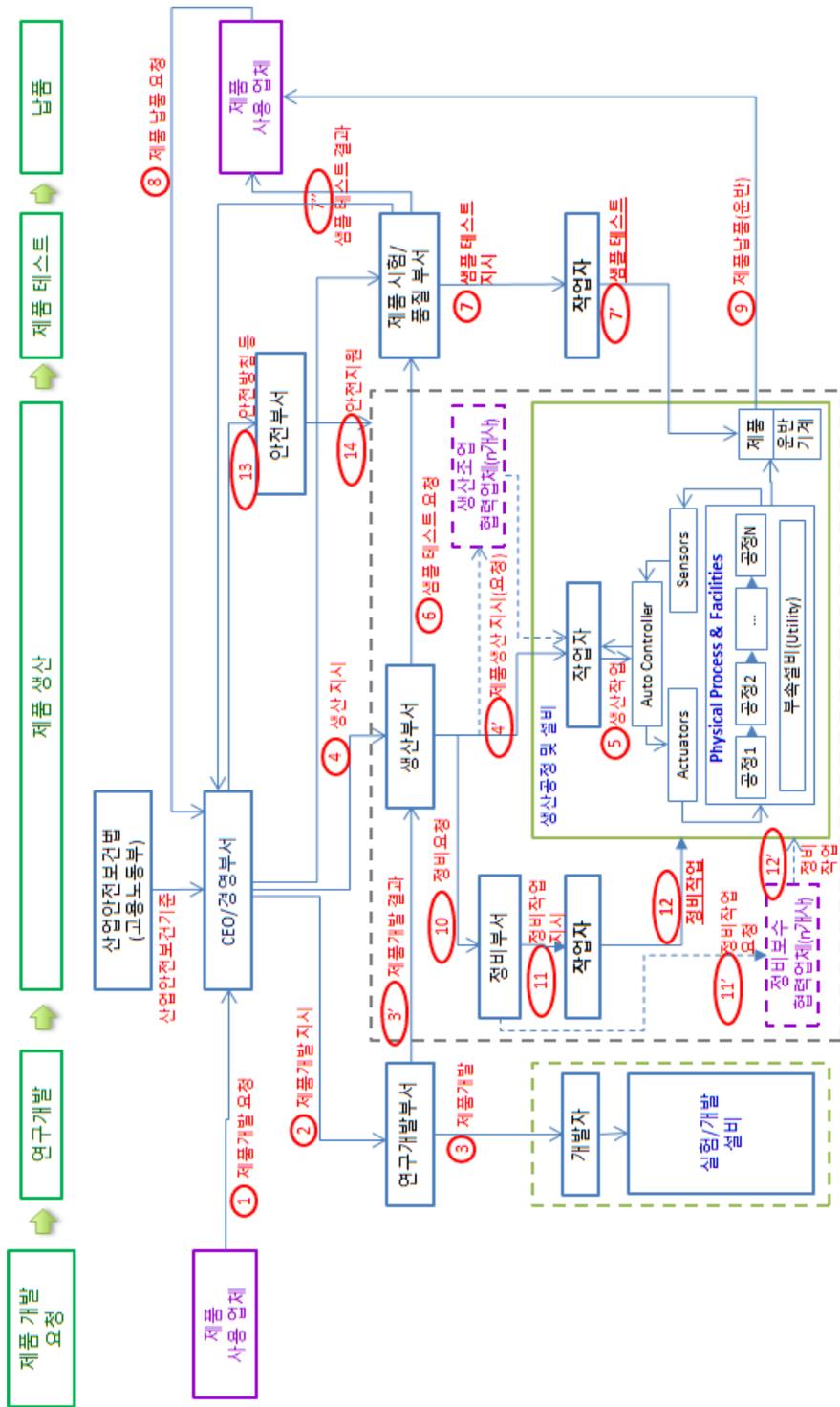
〈표 III-63〉 TMAH 누출 관련 분석대상 사고 목록

| 연번 | 사고 개요 |
|----|--|
| 1 | 수리를 위해 입고한 탱크로리의 탱크 세척작업 후 호스에 잔류하고 있는 TMAH를 제거하기 위해 스패너를 이용하여 호스 끝단부에 있는 커플러의 볼트와 너트를 해체하던 중 잔류 압력에 의해 TMAH가 작업자에 분출되어 얼굴과 목 부위에 묻어, 호흡곤란을 일으킨 후 사망 |
| 2 | TMAH가 포함된 세척제 샘플을 현장 테스트하던 중 세척제가 재해자 몸에 묻어 작업자 사망 |

(1) 시스템 제어 구조

[그림 III-12]에는 TMAH 누출에 의한 작업자 접촉 사고가 발생한 사업장의 주요 공정을 중심으로 작성한 제어 구조를 나타냈다. 제어 구조는 사고가 발생한 2개 사업장의 공정을 통합하여 나타냈으며, 다음과 같은 구성요소로 구성됐다. 참고로, 사고내용에 생산조업 협력업체와 정비보수 협력업체는 관련된 사항이 없었기 때문에 그림에 점선으로 표시하고 분석대상에서 제외하였다.

- TMAH 사용 사업장의 CEO&경영부서, 연구개발부서, 생산부서, 제품시험/품질부서, 정비부서
- TMAH 사용 사업장의 생산, 정비, 제품시험/품질부서 작업자
- TMAH 사용 사업장의 실험 및 개발 설비
- TMAH 사용 사업장의 생산공정 및 설비
- 제품 사용 업체(제품 발주자)
- 산업안전보건법(고용노동부)



[그림 III-12] TMAH 누출 사고 관련 시스템 제어 구조도

(2) 업무 흐름

TMAH가 포함된 화학물질을 사용하는 사업장의 주요 업무 흐름은 <표 III-64>와 같으며, [그림 III-12]의 해당 업무별로 부여된 숫자를 표의 순서로 나타냈다. 주요 업무 내용을 표의 순서로 살펴보면, TMAH가 포함된 화학물질을 사용하고자 하는 업체에서 화학물질을 제조하는 사업장에 제품 개발을 요청하고 해당 사업장에서는 연구개발을 통해 제품을 개발하고 생산한다. 생산된 제품의 샘플 시험 결과가 적정 기준을 만족하면 TMAH가 포함된 화학물질을 주문업체에 납품하게 된다.

<표 III-64> TMAH 포함 화학물질 개발 및 생산사업장 주요 업무흐름

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|-----------------------|---------------------|
| 1 | 제품 개발 요청 | 사용사업장 → 생산사업장 |
| 2 | 제품 개발 지시 | 생산사업장 경영진 → 연구개발부서 |
| 3 | 제품개발 | 생산사업장 연구개발부서 |
| | 제품개발 결과 송부 | 생산사업장 연구개발부서 → 생산부서 |
| 4 | 제품생산 절차서 작성 및 위험성평가 | 생산사업장 생산부서 |
| | 제품생산 지시 | 생산사업장 생산부서 → 작업자 |
| 5 | 제품생산 | 생산사업장 생산부서 작업자 |
| 6 | 샘플 테스트 요청 | 생산사업장 생산부서 → 제품시험부서 |
| | 샘플 테스트 지시 | 생산사업장 제품시험부서 |
| | 샘플 테스트 | 생산사업장 제품시험부서 작업자 |
| | 샘플 테스트 결과 송부 | 생산사업장 → 사용사업장 |
| 8 | 제품 납품 요청 | 사용사업장 → 생산사업장 |
| 9 | 제품 납품 | 생산사업장 → 사용사업장 |
| 10 | 정비 요청 | 생산사업장 생산부서 → 정비부서 |
| | 정비 작업 절차서 작성 및 위험성 평가 | 생산사업장 정비부서 |
| 11 | 정비작업 지시 | 생산사업장 정비부서 → 작업자 |
| | 정비작업 | 생산사업장 정비부서 작업자 |

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|------|-------------------------------|
| 13 | 안전방침 | 생산사업장 CEO(경영진) → 전부서(안전부서) |
| 14 | 안전지원 | 생산사업장 안전부서 → 전부서 |

(3) 업무 흐름에 따른 문제점

TMAH가 포함된 화학물질을 생산하기 위한 연구·개발부터 생산작업과 설비의 정비작업까지 업무가 진행되는 과정에서 안전과 관련된 문제점을 2건의 사고 분석을 통해 찾아냈고, 그 결과를 <표 III-65>에 통합하여 나타냈다. <표 III-64>와 함께 비교해 보면 어느 구성요소의 문제점인지 확인이 가능하며, 이러한 문제점을 기초로 TMAH가 포함된 화학물질 취급 업무의 각 단계별로 안전보건 측면에서 평가해야 할 목록을 작성할 수 있다.

(4) 사고예방을 위한 체크리스트 제안

<표 III-66>에는 <표 III-65>에서 작성된 문제점을 기반으로 TMAH가 포함된 화학물질을 취급하는 업무의 각 단계별로 안전보건 측면에서 평가해야 할 항목, 평가자, 평가시기 등을 도출하여 제시하였다. 평가 목록(체크리스트)의 평가자는 여러 기관(담당자)이 될 수 있다.

<표 III-65> TMAH 포함 화학물질 개발·생산업무 문제점

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|-----------|---|
| 1 | 제품 개발 요청 | - |
| 2 | 제품 개발 지시 | - |
| 3 | 제품개발 | <ul style="list-style-type: none"> • 개발 제품의 유해성 및 위험성 정보 관리 미흡 - 개발한 제품(화학물질)의 유해성 및 위험성을 파악하지 못함 - 개발한 제품의 MSDS 미작성 |
| | 제품개발결과 송부 | - |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|---------------------|---|
| 4 | 제품생산 절차서 작성 및 위험성평가 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산할 제품의 유해성 및 위험성 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 생산할 제품(화학물질)의 유해성 및 위험성을 파악하지 못함 ◦ 생산한 제품의 MSDS 미작성 |
| | 제품생산 지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산할 제품의 유해성 및 위험성 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 생산할 제품의 유해성 및 위험성 전달 미흡 ◦ 생산할 제품의 유해성 및 위험성이 작업자에게 제대로 전달되지 않음 |
| 5 | 제품생산 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산할 제품의 유해성 및 위험성 파악 및 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 생산하는 제품의 유해성 및 위험성을 파악하지 못하고 생산작업 수행 - 생산제품(세척제) 보관(운반) 용기에 화학물질 위험정보 미표시 <ul style="list-style-type: none"> ◦ TMAH 보관 및 운반용기에 화학물질의 유해성 정보를 표시하지 않음 |
| 6 | 샘플 테스트 요청 | - |
| 7 | 샘플 테스트 지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업절차서 미작성 <ul style="list-style-type: none"> - 작업안전수칙 및 작업절차서 미작성에 따른 작업방법 부적정 및 위험 상황 대처 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 샘플 테스트를 위한 적절한 작업절차서 및 작업안전수칙을 작성하지 않음 ◦ 드럼 용기를 옆으로 눕힌 후 손으로 뚜껑을 개방하여 TMAH가 작업자에게 묻음 ◦ 작업자가 TMAH에 노출된 후 적절한 조치를 취하지 못함 • 안전교육 미 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 취급 물질의 유해성과 위험성에 대한 안전교육 미 실시 ◦ 작업자에게 MSDS에 대한 안전교육을 실시하지 않음 • 적절한 보호구 미 지급 <ul style="list-style-type: none"> - 작업자에게 적절한 보호구 미 지급 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 작업자에게 불침투성 보호복, 보호장갑, 보호장화 등을 지급하지 않음 • MSDS 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - MSDS 관리 부적정 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 세척제의 MSDS를 작성하지 않음 ◦ TMAH의 MSDS를 영문으로 작성함(작업자가 취급물질의 위험성 파악 어려움) • 시험 장소 및 시설 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 적절한 설비가 갖추어지지 않은 타 사업장(납품 요청자)에서 테스트 수행 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 안전조치가 제대로 갖추어지지 않은 상태에서 테스트 수행 |
| | 샘플 테스트 | <ul style="list-style-type: none"> • 취급 물질의 위험성 미파악 <ul style="list-style-type: none"> - 작업자가 취급물질(TMAH)의 유해성 및 위험성을 파악하지 못함 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|-----------------------|--|
| | 샘플 테스트 결과 송부 | - |
| 8 | 제품 납품 요청 | - |
| 9 | 제품 납품 | - |
| 10 | 정비 요청 | - |
| | 정비 작업 절차서 작성 및 위험성 평가 | <ul style="list-style-type: none"> • 단순 정비작업의 관행적 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 생산과 직접적으로 관련이 없는 설비의 단순 분해/조립 등의 작업을 관행적으로 수행 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 세안 및 세척설비, 누출방지시설(Dike) 등이 준비되지 않은 상태에서 작업 ◦ 잔압에 의한 물질 분출 등 작업 위험 확인 및 안전조치 미흡 ◦ 정비 작업절차서 작성 여부는 확인 불가 |
| 11 | 정비작업 지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 사전 안전조치 및 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 화학물질 누출, 접촉 등에 대응한 안전조치 및 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 작업대상 기계 및 취급물질에 대한 위험성 파악 및 교육 조치 미흡 (TMAH의 위험성 및 접촉 시 비상대처요령 등에 대한 교육 미흡) ◦ 호흡용 개인보호구 미지급 ◦ 지급된 호흡보호구, 불침투성 보호복 등의 착용에 대한 지시 등 관리 감독 미흡 - 탱크로리 정비를 위한 안전시설 및 작업장소 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 탱크로리 수리를 위한 별도 작업장을 마련하지 않음 (사업장 내 건물 사이 공간을 호스 커플러 분해작업 장소로 사용) ◦ 작업대 없이 작업자가 바닥에 쪼그리고 앉아서 불안정한 자세로 작업하도록 함 ◦ 분해작업 시 위험물질이 분출(누출)될 경우 접촉을 막아줄 덮개(차단판) 미설치 |
| 12 | 정비작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 취급물질의 위험정보 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 작업자들의 TMAH 위험성 및 대처요령 파악 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 피재자는 호흡보호구, 불침투성 보호복을 지급받았으나 미착용 ◦ TMAH의 피부 흡수 위험성 파악 미흡에 따른 접촉 후 응급조치 부적정(재해자는 전신 접촉 후 눈, 머리 위주로 세척을 실시) |
| 13 | 안전방침 | - |
| 14 | 안전지원 | <ul style="list-style-type: none"> • 화학물질 위험성 파악 및 안전조치 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 사업장 위험성평가 등 위험식별 및 개선활동이 적정하게 수행되지 않음 - 안전작업허가제도 운영 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 자체 수리 및 정비 작업에 대한 안전관리 부적정 - 화학물질 제조 및 취급에 따른 안전시설 운영 부적정 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점 |
|----|----------|--|
| | | ◦ 화학물질 취급장소의 응급조치설비(세안세척설비 등) 누출방지 시설(Dike 등) 미흡 |

〈표 III-66〉 TMAH 포함 화학물질 개발·생산업무 흐름별 체크리스트

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|----------------------|---|---|----------------|
| 1 | 제품 개발 요청 | - | | |
| 2 | 제품 개발 지시 | - | | |
| 3 | 제품개발 및 위험성 파악 | <ul style="list-style-type: none"> • 사용 대상 물질의 유해성 및 위험성 정보 파악 여부 • 개발제품(물질)의 MSDS 작성 여부 • 작업절차, 방법의 적정 여부 | 사용사업장 생산사업장의 소해당부서 | 제품개발 전, 후 |
| | 제품개발결과 송부 | - | | |
| 4 | 제품생산 절차서 작성 및 위험성 파악 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산하는 제품(물질)의 유해성 및 위험성 정보 파악 여부 • 생산하는 제품(물질)의 MSDS 작성 여부 • 작업절차, 방법의 적정 여부 | [이하생산사업장] 연구개발부서 제품시험부서 생산부서 정비부서 | 제품생산 전 |
| | 제품생산 지시 | • 생산하는 물질의 유해성·위험성 정보 숙지 및 교육 여부 | 생산부서 | 제품생산 전 |
| 5 | 제품생산 | • 취급하는 물질 및 생산하는 물질의 유해성·위험성 정보 숙지 및 준수 여부 | 생산부서 | 제품생산 전 |
| 6 | 샘플 테스트 요청 | - | | |
| 7 | 샘플 테스트 지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전작업절차서의 작성 여부 • 위험상황 발생 시 대처방법 교육 여부 • 취급물질의 유해성 및 위험성에 대한 안전교육 실시 여부 • 샘플 테스트 장소 및 설비의 안전성 여부 • 취급물질의 유해성과 위험성에 따른 적절한 보호구의 지급 여부 | 제품시험부서생산 부서 | 샘플 테스트 수행 전 |
| | 샘플 테스트 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전작업절차의 숙지 여부 • 취급물질의 유해성 및 위험성 및 위험 상황 발생 시 대처방법의 숙지 여부 • 샘플 테스트 장소 및 설비의 안전성 | 제품시험부서생산 부서 | 샘플 테스트 수행 전 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|-----------------------|---|----------------------------|-----------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> 확인 여부 취급물질에 따른 적절한 보호구의 착용 여부 | | |
| | 샘플 테스트 결과 송부 | - | | |
| 8 | 제품 납품 요청 | - | | |
| 9 | 제품 납품 | - | | |
| 10 | 정비 요청 | - | - | - |
| | 정비 작업 절차서 작성 및 위험성 파악 | <ul style="list-style-type: none"> 위험작업임에도 불구하고 안전조치 없이 관행적으로 작업하고 있는지 여부 - 단순 정비 및 청소 작업의 위험성 파악 여부 - 안전한 작업환경 및 안전설비 구비 여부 - 발생 가능 위험성 파악 및 안전조치 여부 - 작업절차서와 실제 작업의 일치 여부 | 생산부서 정비부서 및 사용사업장 | 정비작업 수행 전 |
| 11 | 정비작업 지시 | <ul style="list-style-type: none"> 정기 및 수시 화학물질 취급 작업의 위험성 파악 및 안전조치 수행 여부 - 화학물질 취급 작업 장소 및 종류 파악 여부 - 화학물질 취급 작업 방법의 적정성 여부 - 화학물질의 위험성 교육 여부 - 취급 화학물질의 위험성의 작업자 숙지 여부 - 지급 대상 보호구 선정의 적정성 여부 - 개인 보호구의 지급 및 착용 여부 작업장소의 안전시설 및 안전조치의 적정성 여부 - 위험을 예방하기 위해 필요한 안전 시설 파악 여부 - 작업에 적합한 작업 장소 및 시설의 제공 여부 | 생산부서 정비부서 및 사용사업장 | 정비작업 수행 전 |
| 12 | 정비작업 | <ul style="list-style-type: none"> 취급 화학물질 및 수행 작업의 위험성 숙지 여부 지급받은 보호구 착용 적정 여부 작업 중 위험상황 발생 시 대처 및 응 | 생산부서 정비부서 및 사용사업장 | 정비작업 수행 전 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|----------|--|--------------------------|------|
| | | 급조치 방법 숙지 여부 | | |
| 13 | 안전방침 | - | - | - |
| 14 | 안전지원 | <ul style="list-style-type: none"> • 위험성평가 수행 및 조치 결과의 적정성 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 위험성평가 수행 시 참여 직원의 적정성 여부 • 안전교육 내용의 적정성 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 수행 작업 및 취급 물질의 위험성 숙지 여부 • 비상조치 계획의 적정성 및 훈련 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 비상상황 발생 시 필요한 조치 내용의 숙지 여부 • 안전작업허가제도 운영의 적정성 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 작업 승인 전 작업위험성 검토 및 조치 결과의 적정성 여부 • 작업별 안전시설 및 안전조치의 적정성 여부 • 보호구 지급 및 착용의 적정성 여부 | 해당 지원부서 전체 및 사용사업장 | 수시 |

3. 소결

이상에서 3종류의 사고사례¹²⁰⁾ 분석을 시도해 보았다. 각 사고사례의 발생 원인과 관련된 주요 문제점을 요약하면 다음과 같다.

1) 건축물 해체공사 중 붕괴사고

이 연구에서 사고사례로 분석한 붕괴사고는 해체계획서의 부실 작성, 이해관계자를 해체계획서 검토자로 선정, 해체계획서의 부실 검토 및 법규 미준수 묵인, 해체허가 신청 시 도급인(원수급인) 배제, 해체계획서 승인절차상 확인 미흡, 감리권한이 제대로 작동되지 않도록 감리계약 주체 부적정

120) 건축물 해체공사 중 붕괴사고, 열매체유 보일러 화재·폭발사고, TMAH 급성중독사고(연구 초기 메탄올 급성중독사고) 등 3건

처리, 감리계약에 필수확인점 내용 누락, 불법다단계 하도급 및 이로 인한 공사비 급감(안전확보의 구조적 취약점 노출), 부적정한 작업 일정 단축, 철거공법 변경 등 절차 무시, 해체계획서 미준수, 감리업무 부실 수행, 노사합동 안전점검 미실시 등 제반 법규의 총체적 미준수 결과였다.

또한, 발주자의 역할에 대해 법적 의무사항을 명시한 산업안전보건법 제 67조(건설공사발주자의 산업재해 예방 조치)에 따르면 대통령령(시행령 제 55조)으로 정하는 총공사금액 50억원 이상¹²¹⁾의 건설공사의 발주자는 기본안전보건대장의 작성, 기본대장을 설계자에게 제공하고 설계안전보건대장을 작성하게 하고 이를 확인, 원수급인에게 설계대장을 제공하고 그 수급인에게 이를 반영하여 공사안전보건대장을 작성하게 하고 그 이행 여부를 확인하도록 규정하였다. 더불어 발주자는 전문가에게 각 대장의 적정성을 확인받아야 한다. 발주자는 설계·시공 업무에 안전이 고려되도록 적정한 비용과 기간을 계상·설정하여야 한다.

분석과정에 의견을 수렴한 전문가 자문의견으로는 공사기간과 공사금액이 적정하게 보장되지 못하는 계약상의 문제와 재하도급에 따른 공사금액의 감소가 현장의 사고위험을 더욱 높인다고 반복 지적되었다. 지자체별 인허가에 소요되는 기간이 길어 초단기 공사인 소규모 해체공사는 인허가 신청 후 허가전 불법으로 철거공사를 시작하는 경우가 빈번하며, 실제 해체공사는 장비기사 주도로 이루어져 해체계획서가 있더라도 계획서대로 시공이 어렵고, 또한 특성상 감리가 현장에 상주하더라도 작업공간 내 접근하여 적극적인 업무수행은 하지 않는 것이 현실정이라고 하였다. 안전한 공법보다 비용에 초점을 둔 공법이 선정되며, 비용절감 및 촉박한 공기로 인해 계획된 안전시설의 미설치 및 안전기준 위반이 빈번하다는 의견이 제시되었다.

121) 이 5층 건물의 붕괴사고(2021년 6월 9일)와 관련하여 도급인이 당초 학동 4구역 일 반 건축물 철거공사를 하도급할 때 맡긴 공사비는 50억 7000만원이라는 증언이 나왔다.(조선일보 2021.11.08.19:24 입력)

2) 열매체유 보일러 화재·폭발사고

연구용 시험생산설비의 사고는 안전밸브의 토출배관 끝단이 보일러실 내에 노출되면서 점화원이 있는 상존하는 보일러실 공간 자체가 화재·폭발 가능한 위험조건을 만들었다. 이에 대해 시험생산설비에 대한 사전안전성 검토, 사용물질에 대한 위험성 파악 및 열화와 관련된 물성의 지속적인 관리, 설비담당자·정비담당자 포함한 위험성평가 수행자의 전문성 등이 미흡(부족)하였고, 시험설비를 제작하는 협력업체에 안전기준이 제대로 제시되지 않은 문제점이 파악되었다. 설비 제작·납품 협력업체가 보일러 및 열매체유의 위험성을 제대로 평가하지 않고 안전밸브의 토출부를 실내에 노출시킨 것(설치 시 설비 제작·납품 협력업체가 보일러 실 외부로 토출부를 빼내야 한다고 요청했으나 사용 사업장 측에 받아들여지지 않았을 가능성도 있음), 안전밸브의 시트가 보일러 설계온도보다 낮은 사양으로 선정된 것 등이 또한 문제점으로 나타났다.

온도센서를 분리하려다 하부의 열전대보호관까지 함께 회전시켜 열매체유를 누출시킨 사고의 경우 기본적으로 설비에서 설계단계의 위험성 파악에 문제가 있었던 것으로 나타났다. 1990년 사고 보일러 설비 설치 당시 국내에는 관련 설비에 대한 안전기준이 없었다. 그 이전의 관행에 따라 설비는 제조되었을 것이고, 보일러와 열매체유의 위험성에 대한 위험성 파악도 제대로 이루어지지 않은 결과로 분석되었다.

열매체유 순환펌프의 회전축에서 열매체유가 누출된 사고는 설비 및 위험물질에 대한 위험성 파악 및 체계적 관리 미흡, 안전교육 미흡, 베어링 및 실 교체 후 가동 전 점검 및 펌프 축정렬 상태 확인 미실시, 위험물질 누출우려 높은 장소에 대한 감시체계 미구축 등이 문제점으로 파악되었다.

3) TMAH 급성중독사고

샘플 테스트와 관련된 사고는 제품 개발단계에서 제품의 유해성·위험성

파악 미흡, MSDS 미작성 및 부적정 작성(영문), 작업절차서 미작성, 안전 조치가 미비한 상태의 장소에서 테스트 수행, 제품의 생산과 관련된 작업자들에게 유해성·위험성 전달(교육) 미흡 등의 상태에서 작업이 수행되었고 TMAH의 유해성·위험성에 상응하는 수준의 호흡보호구, 불침투성 보호복, 보호장갑, 보호장화 등이 지급되지 않아 TMAH가 작업자의 신체에 쉽게 접촉되는 상황이 발생했으며 이후의 응급조치도 신속하게 적절한 방법으로 이루어지지 못한 문제점이 파악되었다.

정비작업과 관련된 사고는 TMAH의 유해성·위험성에 대한 인식이 미흡한 상태에서 생산과 크게 관련 없는 설비의 단순한 정비 정도라는 인식하에 관행적 수행으로 작업자들에 대한 TMAH의 유해성·위험성 교육이 미흡한 결과, 지급된 호흡보호구, 불침투성 보호복 등이 착용되지 않은 상태로 작업이 수행되었으며 자체 수리 및 정비 작업에 대한 안전관리와 위험물질 취급에 따른 안전시설 운영 등 안전작업 허가제도의 운영도 미흡하였고 세안 및 세척설비, 누출방지시설 등이 마련되지 않은 상태로 작업이 진행되어 작업자가 TMAH에 접촉된 비상상황에서는 응급조치가 제대로 이루어질 수 없었다.

TMAH 급성중독사고는 대체로 사업주, 관리감독자, 작업자 등 모든 관계자가 TMAH의 유해성·위험성을 제대로 인식하지 못한데 원인이 있는 것으로 보인다. 이 점에서 안전보건공단 미래전문기술원에서 2021년 11월 발간한 ‘수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북’ 첫 부분에서 경고하는 “피부에 닿으면 죽습니다”라는 문구는 아주 적절한 표현으로 생각된다. 사업주와 관리감독자들이 작업자들에게 TMAH라는 물질의 유해성·위험성에 대해 제대로 인식(교육)시키고, 작업절차서를 확실히 작성하여 주지(교육)시키며, 작업 시 앞에서 기술한 보호구 일체를 지급하여 착용하게 하고, 작업장에 비상상황 시 즉시 응급조치 가능한 세척시설을 갖춘다면 TMAH 관련 사고의 예방에 크게 도움이 될 것으로 생각된다.

4) 두 가지 사고분석 접근방식에 대한 고찰

이 연구에서는 전통적으로 이루어지던 분석 방식과 최근에 부각된 시스템적 분석 방식의 두 가지를 방법론으로 적용하였다. 두 가지 접근 방식의 적용상의 차이를 확인하고자 연구과정에서 두 가지 방식의 연구진 간에 필연적으로 이루어지는 분석방향 및 내용 관련 토론은 하지 않도록 했다. 두 팀은 분리된 환경으로 연구를 진행했지만, 두 가지 방식에서 활용된 자료는 근본적으로 차이가 없었다. 두 가지 방식의 장단점과 그 결과물의 차이를 파악하는 것도 이 연구의 중요한 요소이다. 각 연구자가 개별적으로 담당할 분석 결과는 각 연구자의 전문성과 통찰력에 따른 주체적 판단이 우선된 결과물이다.

보통 분석의 결과(질적 수준)는 법·제도적 측면, 기술적 문제 등에서 확보되는 자료(데이터)의 수준과 양에 크게 의존한다. 따라서 사고가 발생하면 체계화된 방법으로 사고에 영향을 미친 모든 원인을 광범위하게 수집하는 그 부분에서 이미 분석의 결과는 대략 정해진다고 보면 맞을 것이라 판단된다. 다만, 조사단계에서 무슨 자료가 반드시 확인돼야 하는지, 어떠한 방식으로 질문하고 수집할지 등은 향후 연구를 통해 체계화하고 조사단계에 피드백 해야 할 중요한 부분이다.

시스템적 방식은 전통적 방식에 비해 체계적이다. 달리 표현하면 전통적 방식은 개인별 전문성, 통찰력에 따라 특히 과정과 결과에 있어 차이가 크게 나겠지만 사고조사와 분석이 기술적 사항에 집중될 우려가 높은 것도 피할 수 없는 사실로 판단된다. 이러한 부분을 시스템적 방식은 효과적으로 통제하는 것으로 판단된다. 이 연구에서 파악되는 한 가지 현상으로 특히, 조직 차원에서 단위 조직이 한 일과 하여야하는데 하지 못한 일, 조직의 역할, 업무 절차 등을 파악하는데 있어 분석 과정이 전통적 방식에 비해 더 효율적으로 원하는 결과물에 이를 수 있도록 체계적으로 구성돼 있다. 또한, 시스템적 방식은 사업주의 안전 마인드 측면 파악, 시각화를 통한 사고

흐름에 대한 이해도 제고, 안전보건체계의 구축과 작동방식의 정리와 이해도 제고 등에도 효과적이다. 하지만 이 방식을 능숙하게 활용하고 적절한 질문을 통해 원하는 결과물을 얻는 수준에 도달하도록 전문성을 쌓는 데는 전통적 방식 이상으로 많은 시간과 노력이 필요할 수 있다. 전통적 방식은 관련 분야 경험과 지식에 바탕을 둔 분석자 개인의 전문성과 통찰력에 좌우된다. 시스템적 방식도 전통적 방식과 마찬가지로 정량화된 기법은 아니다. 시스템적 방식도 전통적 방식만큼이나 정성적 방법이기에도 역시 사고조사 및 분석에 많은 경험(전문성)과 통찰력을 요구한다.

IV. **숯조직부문의 위험성평가 참여 및 역할**



IV. 소조직부문의 위험성평가 참여 및 역할

1. 사고사례별 제안 체크리스트에 대한 종합 전문가 자문

앞에서 3종류의 기본적인 사고사례를 중심으로 하되, 부분적으로 관련 사고 몇 건을 추가하여 인터넷에 공개되었거나 일반적으로 이미 파악돼 사고예방에 필요한 절차 또는 기술적 요구사항으로 인식된 내용을 반영하여 분석함으로써 문제점을 도출하고 체크리스트 샘플을 제안하였다.

이러한 과정과 결과에 대하여 2단계 전문가 자문회의를 통해 최종적으로 연구 결과에 대한 보완사항을 수렴하였다. 1단계 전문가 의견수렴은 3종류의 사고사례별 연구과정에 분야별로 실시하였다. 다만, TMAH 급성중독사고의 경우에는 1단계 전문가 의견수렴이 시간상 실시되지 못했고, 연구 초중반에 수행됐던 메탄올 급성중독사고에 대한 전문가 의견수렴 결과는 부록에 실어두었다.

2단계의 종합 전문가 자문회의는 3종류의 사고분야별로 각 1회씩 3회로 구분하여 압축적이고 연구 핵심에 집중되는 토론이 이루어져 연구의 질을 높이고자 하였다. 자문위원장은 이 연구의 배경이 되는 연구방향의 틀¹²²⁾을 제안한 공단 본부의 안전보건사업이사가 맡고, 각 사고 관련 내·외부 전문가로 구성하였다. 자문회의 일정과 참석자 현황은 다음과 같다.

122) 제안된 연구방향의 틀 중 주요 내용은 ①산안법 위반에 집중된 조사내용 외 ④제조업: 엔지니어링+안전, ③건설업: 설계, 시공, 감리+안전, ②그외 여러 공학분야, 관리·기술·시스템 등과 관련된 예방대책의 강구, ②이러한 개념을 안전보건관리체계 수립에 자연스럽게 접목하는 방안, ③모든 산업활동 단계 및 모든 업무조직이 참여하는 안전보건체계 구축 및 안전관리 방안 → 공단 전부서 단위에서 예방사업의 틀·구조 등을 재검토, 위험성평가 체계 개선방안 고민[직접원인, 시공·공정관리, 근로자 특성, 시스템 구축 등의 가능성을 컨트롤하고 정량화를 통해 위험성을 낮추는 샘플 마련, 우선 최근 대형사고(건설현장 붕괴, 열매유 폭발, 신규물질 사고 등)를 바탕으로 위험성평가 샘플 개발 및 장기적으로 모듈화]

〈표 IV-1〉 종합 전문가 자문회의 참석자 명단

| 구분 | 일정 | 참석자 |
|------------------|-----------|--|
| 열매체유 보일러 화재·폭발사고 | 6월 10일 오후 | 사업이사 및 연구진 6명, 공단 본부 2명 및 일선기관 2명, 학계(교수) 2명, 보일러 제조사업장 1명 |
| TMAH 급성중독사고 | 6월 17일 오전 | 사업이사 및 연구진 5명, 공단 본부 1명, 연구원 1명 및 미래기술원 1명, 학계(교수) 3명 |
| 건축물 해체공사 중 붕괴사고 | 6월 17일 오후 | 사업이사 및 4명, 공단 본부 1명 및 일선기관 1명, 학계(교수) 1명, 관련 해체기술연구원 1명 및 건설교육원 1명, 구조엔지니어링 사업장 1명 |

종합 전문가 자문회의에서 토론된 주요 내용은 다음과 같다. 연구에서 발견된 오류 사항과 연구 결과에 즉시 반영 가능한 사항은 수정·보완하였다. 일부 토론 내용은 연구 주제에서 다소 벗어난 측면도 있지만, 해당 분야 전문가들의 의견이라는 점과 향후 연구에 도움이 될 수도 있기에 토론 내용에 포함시켜 정리하였다.

〈표 IV-2〉 종합 전문가 자문회의 토론 주요 내용

| 구분 | 주제 | 주요 내용 |
|------------------|----|--|
| 열매체유 보일러 화재·폭발사고 | 분석 | <ul style="list-style-type: none"> • 중대재해처벌법 관련하여 사업장에서 위험성평가는 어떻게 실시할지 고민, 사업장을 위해 가장 적당한 위험성평가 도구는 SOP라고 생각 • 열매체유 관련 법령의 총괄표 정리 및 열매체유의 종류와 특성 제시(광유, 합성유의 차이 등) • 타 분야에서 사용되는 열매체유 설비의 문제점 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 학교급식 시설 등 • 설비의 전체 생애주기에 있어 안전사항 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 설계, 생산, 설치, 사용, 유지보수, 폐기 등 |

| 구분 | 주제 | 주요 내용 |
|------------------|-------|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 사고사례 분석을 통해 공정별 요구사항과 선행조건 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 위험성평가에 있어 일류적인 빈도×강도 방식은 신뢰하기 힘들, 우선 Requirements가 핵심으로 검토되어야 함, 대기업도 힘든 것을 소기업에 적용은 의문스러움 - 체크리스트는 대기업에 시범 적용해보고, 그 효과를 검토 후 베스트 프랙티스를 발굴하여 확대 적용하는 방식이 적당 • 산업특성에 따라 적절한 사고분석 방법 선택법과 방법별 분석결과의 차이점 검토 |
| 열매체유 보일러 화재·폭발사고 | 체크리스트 | <ul style="list-style-type: none"> • 중소기업 사업장을 위한 체크리스트, 안전보건 기술기준 등의 체크리스트 반영 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 안전장치를 확인하다면 어떻게 이행할지 구체성이 필요 - 항목별 세부적인 사항에 대해서는 추가 필요 • 체크리스트 방식이 위험성평가 도구로 적당한지 고민, 또한 체크리스트 우선순위 부여를 위한 방법론 개선 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 86건 문제점에 대해 3점 척도 사용은 리스크 있을 듯 • 시운전과 관련된 체크리스트 검토 • 각 부서별 위험성평가 참여 방법 및 수행결과 등에 대한 감시(모니터링) 부서 반영 • 체크리스트에 Hazard 반영, 허용수준 설정은 어느 정도 요구 될지 검토 |
| | 활용 | <ul style="list-style-type: none"> • 시스템적 분석을 통해 도출된 체크리스트는 상위 개념 중심이므로, 실무 수준에서 이행할 세부내용과 가이드 필요 • 사업장 각 부서에서 활용할 수 있도록 방법론, 가이드라인, 매뉴얼 개발 등에 대한 검토 |
| | 향후과제 | <ul style="list-style-type: none"> • 산업재해 발생원리, 시나리오 기반으로 체크리스트를 개발 • 부서별 안전역할 부여 방법 및 개입 시점 등에 대한 분석 • 전기식 보일러와 같이 규제의 사각지대에 있는 설비의 안전성 확보를 위한 규제 방안 제안 • 열매체유의 열화나 공정운전조건에 대한 규제 방안 제안 • 설비나 사용물질의 위험성을 모르고 사용하는 사업장의 안전성 확보방안 검토 |

| 구분 | 주제 | 주요 내용 |
|----------------|-----------|---|
| TMAH 급성중독사고 | 분석 | <ul style="list-style-type: none"> • 화학물질이 왜 사고를 일으키는지, 왜 그 물질이 선정됐는지, 결국 그 물질에 대한 정보전달이 없었으므로 이와 관련된 일반화·특성화 등 측면의 고민부터 시작 <ul style="list-style-type: none"> - 일반화(개발, 사용), 특성화(건설, 제조, 화학 등)에 맞는 매뉴얼, 가이드의 개발이 요구됨 • 화학물질 도입 단계에서 위험성 검토 방안 포함 • 화학물질 위험성 파악 조직 및 시스템 유무 검토 • 시스템적 분석은 연구원에서 가능하지 사업장에서는 곤란 <ul style="list-style-type: none"> - 화학물질의 문제를 MSDS만으로 접근하는 해결책은 실용적이지 않고, 결국 유해위험성을 인식하고 전달할 조직체계의 문제로 접근함이 핵심과제 일 것 - 시스템적 분석에서 협력업체 분석이 생략된 것은 아쉬움, 소통 측면에서 아주 중요 - 각 체크리스트의 항목을 위한 구체적 가이드라인 필요 - 체크리스트의 항목이 너무 많다고 생각 • 화학물질 MSDS 제공 여부보다 실질적인 위험정보 제공 여부를 확인하는 것이 우선되어야 할 것 <ul style="list-style-type: none"> - ‘TMAH는 노출되면 사망’이라는 정보의 전달이 핵심, 근로자에게 전달되는 정보는 표현을 고민할 필요 - 시스템적 분석은 간단한 사례에 복잡하게 접근한 듯, 분석방식에 적합한 사례를 추가 분석함이 좋을 듯, 사고사례별로 전통적, 시스템적 방식을 구분 적용함이 좋을 듯 - 사업장의 서류는 완벽한데, 정작 현장에서 근로자들은 내용을 전혀 인식하지 못하는 문제점을 해소하여야 함 |
| TMAH 급성중독사고 | 체크 리스트 | <ul style="list-style-type: none"> • 화학물질 유해·위험성, 구성 성분의 확인 관련 내용 구체화 • 화학물질 직접 취급자의 위험성 인식도 향상을 위한 항목 검토 • 화학물질 사용사업장을 위한 체크리스트 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 작업허가 문제 등 - 급성독성 물질의 경우 국내 대략 120여종 중 사고는 10종 정도에 집중, 따라서 급성에 맞는 대응책 필요 - 국내 TMAH 제조사 1개소, 수입하여 혼합제조 1개소 이므로 실제로 사고는 유통단계와 전자 및 디스플레이 산업 사용 사업장이 핵심이 되어야 함 |

| 구분 | 주제 | 주요 내용 |
|-----------------|-------|---|
| | 활용 | <ul style="list-style-type: none"> • 체크리스트의 내용 구체화 및 단순화 필요 • 사업장 실무자를 위한 체크리스트 작성 및 활용 방법론 제시 • 체크리스트 항목별 평가를 위한 가이드라인 제시 • 체크리스트의 비전문가 활용을 위한 고민 |
| | 향후과제 | <ul style="list-style-type: none"> • 협력업체 사고분석을 통해 관련 문제점과 체크리스트 항목 도출 • 화학물질 위험정보 제공 방안에 대한 고민 • 체크리스트 외 화학물질 관련 사고사례 제공 |
| 건축물 해체공사 중 붕괴사고 | 분석 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체계획서 작성 및 검토자 관련법 개정(8.4. 시행) 내용 반영 <ul style="list-style-type: none"> - 신고, 허가 구분 및 서명날인 중요 - 현행: 해체공사자 작성 → 구조기술사 검토 개정: 구조기술사 작성 → 검토자는 명시되지 않음 - 작성·검토자는 다름이 원칙이므로 구조기술사 작성건은 다른 구조기술사 검토가 타당 • 대수선공사의 경우 인테리어 수준의 용도변경 건으로 처리하면서 사고위험을 높이는 관행 <ul style="list-style-type: none"> - 허가기관은 이를 확인할 법적 수단 부재하므로 법적 제도적 해결이 우선이지만, 체크리스트는 이러한 부분의 해소 방안을 고민(이 부분에는 교육의 병행도 좋을 듯) |
| | 체크리스트 | <ul style="list-style-type: none"> • 개인별 역량의 차이를 줄이는 체크리스트가 바람직 <ul style="list-style-type: none"> - 이행 주체별, 업무 단계별 체크리스트 개발에 초점 • 해체계획서 작성자의 자격요건 체크리스트에 반영 |
| | 활용 | <ul style="list-style-type: none"> • 해체공사 주체(담당자)별 상세 체크리스트 작성 및 적절한 교육 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 설문조사 결과 현장 근로자들이 바라는 교육은 최신 사고사례, 현장에 부합하는 사고방지 대책 • 관리자가 현장을 제대로 확인하도록 하는 방안 |
| 건축물 해체공사 중 붕괴사고 | 향후과제 | <ul style="list-style-type: none"> • 인허가기관의 단계적 전문성 확보(확인) 시스템(방안) • 감리자의 안전 관련 질적 수준 향상을 위한 방안 • 해체공사 관련 해외 신기술에 대한 국내 도입 검토 • 해체계획서 검토기관 운영 자격에 대한 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 해체계획서 검토는 구조검토프로그램이 완비돼 이를 다시 도급하는 현실을 개선할 수 있어야 하므로 시설, |

| 구분 | 주제 | 주요 내용 |
|----|----|--|
| | | 인력, 필수 프로그램 등 자격요건 법적 명시 필요 • 해체공사의 감리 계약관계는 해체공사자가 아니라 건축주가 됨이 타당 • 해체 및 철거 관련 교육을 위한 법적 근거 마련 필요 - 일본은 90년대 이미 채택, 우리나라도 650만여 동의 해체가 사회 문제화 될 때를 대비해 대학교 정규교육 과정화 및 국가자격제도 반영 필요 - 해체 자격제도 반대: 건축공학(파괴공학 과정 포함)과 건축학은 다르므로 비전공자의 진입은 반대, 다만 국가자격제도에는 찬성 |

2. 사고사례 분석 및 체크리스트 제안

산업안전활동의 첫 출발점이자 기본이 되는 위험성평가에 사업장 내 각 업무단계별로 잠재적인 사고요인을 제거하는데 기여할 수 있는 전문역량과 경험을 갖춘 모든 조직의 각 전문가가 모두 참여하는 것이 요구되고 있다. 일부 사업장에서 여전히 위험성평가 관련 서류작업의 기피, 해당부서별 고유 업무 수행에도 부족한 시간 등 이런저런 이유로 안전관리자 등 안전업무 관계자 중심으로만 위험성평가가 형식적으로 이루어지는 경우도 있는데, 이렇게 수행되는 위험성평가는 산업안전 측면에서 반드시 없어져야 할 업무 형태이다.

이 연구는 위험성평가에 쏘단계 쏘조직이 참여할 수 있는 평가 도구 샘플을 제안하고, 이 때 위험성평가의 이행 주체가 단계마다 누구인지 제안하는데 있다. 앞에서 위험성평가 본래의 취지에 맞는 샘플이라는 주장과 함께 보여 준 1쪽짜리 사례는 다소 극단적이기는 하나 직접 사업주와 작업자가 함께 논의하여 작성한 것이라고 하였다. 위험성평가는 사안마다 다르겠지만 근본 취지는 사업장의 모두가 동참하여 스스로 위험성을 찾아 개선하는 것이다. 여기에서 실질적으로 실천한다는 부분이 아주 중요하다. 위험성

평가에서 반드시 추구해야 하는 핵심요소이다.

서구의 위험성평가 기본 철학에 대해 역시 앞에서 정리한 바 있듯이 안전이 확보되지 않은 제품은 원천적으로 시장진입을 차단하는 것만큼 효과적인 것은 없을 것이다. 3종류의 사고사례도 마찬가지이다. 설계단계, 개발 단계 초기에 안전확보 차원에서 절대 놓치지 않아야 하는 항목들은 함께 논의하여 제거하거나 해결책을 수립해야 한다. 이 단계를 놓치게 되면 결국 이후에 사고로 나타나거나 대책에 더 큰 노력과 시간을 들이더라도 임시방편만 적용하는 어설픈 결과로 이어지게 된다.

이 연구에서 제안한 체크리스트는 위험성평가 도구의 하나이다. 따라서 결국 체크리스트를 만들고 활용하는 그 자체도 위험성평가에 속한다. 내용 측면에서 항목 그 자체가 해당 사고를 예방하는데 중요 사항이라 판단하여 연구자들이 명시한 것이다. 극히 일부에 위험성평가라는 용어가 포함되기는 하였으나 체크리스트 자체가 이미 위험성평가라고 표현하였기에 굳이 별도로 위험성평가를 항목 속에 포함시킨 것은 강조의 의미로 받아들이면 타당하겠다. 사업장에서 수행하는 위험성평가 체크리스트는 사안별로 이 연구에서 제안한 항목보다 더 중요하고 구체적인 항목이 당연히 추가될 수 있다. 체크리스트는 얼마든지 변형하여 사용할 수 있다. 실제로 위험성평가에 활용하고 위험공정, 설비, 작업의 개선 결과로 이어진다면 사업장에서는 얼마든지 그 형태를 바꿔 사용할 수 있다.

따라서 전통적 방식에서 구체화된 문제점, 체크리스트 또는 시스템적 방식에서 기술된 문제점, 체크리스트 샘플을 각각 활용하거나 여기에서 두 가지 접근방식을 통합하여 보여주는 역할 내용을 참고하여 활용할 수 있다. 사업장의 특성에 맞고, 사고감소에 기여하기만 한다면 어떻게 활용하든 그 방식은 사업장에서 의견을 모아 스스로 정할 수 있다.

1) 건축물 해체공사 중 붕괴사고

〈표 IV-3〉의 내용은 발주자, 도급인(원수급인), 수급인, 해체계획서 작성·검토(설계)자, 인허가자, 감리자로 역할 참여자를 구분하였다. 발주·계약, 해체계획서 작성·검토·승인·작업·감리·안전교육 및 점검의 단계로 업무 단계를 구분하였다.

참여 및 역할 내용은 전통적 방식과 시스템적 방식의 체크리스트 내용을 통합 정리한 것이다. 기술된 항목들은 해체공사 중 붕괴사고 예방을 위해 위험성평가 과정에서 꼭 확인되고 개선조치 되어야 할 주요 내용을 선별한 것이다. 산업현장별로 실무에서는 우선순위가 다른 사례가 얼마든지 발굴될 수 있으므로 더 중요하고 긴급하다고 의견이 모아진 항목 내용은 추가하여 적용하면 될 것이다.

〈표 IV-3〉 건축물 해체공사 붕괴사고 예방을 위한 수단계조조직부문의 위험성평가 참여 및 역할

| 구분 | 발주자 ²³⁾ | 도급인(완수급인) | 수급인 | 작성·검토(설계자) | 인허가자 | 감리자 |
|---------------------|--|--|--|------------|--|---|
| 발주·계약 | 하도급사업장 평가(직업, 안전관리 역량 등) 불법재하도급 여부 공사비·기간 적정성 여부 해체작업자에 도급인 명시 여부 감리계약의 발주자와 체결 여부 | 하도급사업장 평가(직업, 안전관리 역량 등) 불법재하도급 여부 공사비·기간 적정성 여부 해체작업자에 도급인 명시 여부 감리계약의 발주자와 체결 여부 | 하도급사업장 평가(직업, 안전관리 역량 등) 불법재하도급 여부 공사비·기간 적정성 여부 해체작업자에 도급인 명시 여부 감리계약의 발주자와 체결 여부 | | | 하도급사업장 평가(직업, 안전관리 역량 등) 불법재하도급 여부 공사비·기간 적정성 여부 해체작업자에 도급인 명시 여부 감리계약의 발주자와 체결 여부 |
| 해체계획서 작성 공사종류 구분 | 해체계획서 작성성 여부(대수신공사, 용도변경 구분 적정성 포함) 구조전문가에 의한 구조안전성 평가, 안전점검표 작성 여부 설계도서 유무 및 현장조사 결과 반영, 적정 해체방법 선정 여부 | 해체계획서 작성성 여부(대수신공사, 용도변경 구분 적정성 포함) 구조전문가에 의한 구조안전성 평가, 안전점검표 작성 여부 설계도서 유무 및 현장조사 결과 반영, 적정 해체방법 선정 여부 | 해체계획서 작성성 여부(대수신공사, 용도변경 구분 적정성 포함) 구조전문가에 의한 구조안전성 평가, 안전점검표 작성 여부 설계도서 유무 및 현장조사 결과 반영, 적정 해체방법 선정 여부 | | | 해체계획서 작성성 여부 (대수신공사, 용도변경 구분 적정성 포함), 안전점검표 작성 여부 |
| 해체계획서 검토 요청 | 검토자와 이해관계 여부 | 검토자와 이해관계 여부 | 검토자와 이해관계 여부 | | | |
| 해체계획서 검토 | 검토자의 자격(작성·구조·설사, 검토: 다른 구조·설사) 적정성 여부 검토항목(해체순서, 보강방법, 유자격자 서명본인, 적정 인력 시설 구조검토프로그램 확보 등)의 적정성 여부 보안요구사항 적정성 여부 보안결과의 적정성 여부 필수확인점 지점의 적정성 여부 | 검토자의 자격(작성·구조·설사, 검토: 다른 구조·설사) 적정성 여부 검토항목(해체순서, 보강방법, 유자격자 서명본인, 적정 인력 시설 구조검토프로그램 확보 등)의 적정성 여부 보안요구사항 적정성 여부 보안결과의 적정성 여부 필수확인점 지점의 적정성 여부 | 검토자의 자격(작성·구조·설사, 검토: 다른 구조·설사) 적정성 여부 검토항목(해체순서, 보강방법, 유자격자 서명본인, 적정 인력 시설 구조검토프로그램 확보 등)의 적정성 여부 보안요구사항 적정성 여부 보안결과의 적정성 여부 필수확인점 지점의 적정성 여부 | | | 검토자의 자격(작성·구조·설사, 검토: 다른 구조·설사) 적정성 여부 검토항목(해체순서, 보강방법, 유자격자 서명본인, 적정 인력 시설 구조검토프로그램 확보 등)의 적정성 여부 |
| 해체계획서 승인 요청 | 해체하기신청서 기재내용 적정성 여부 | 해체하기신청서 기재내용 적정성 여부 | 해체하기신청서 기재내용 적정성 여부 | | | |
| 해체계획서 인허가 검토 | | | | | 허가/신고 대상 적정성 여부 발주자·도급인·수급인, 감리자 적정성 여부 해체계획서 전문가 검토·보안 결과의 적정성 여부 승인통보 시 안전 사항 안내 필수확인점 지점 적정 여부 | |
| 해체공사 감리 요청 | 계약당사자, 감리 대상재(도급인 포함) 적정성 여부 감리자 상주 여부 필수확인점 지점 적정성 여부 | 계약당사자, 감리 대상재(도급인 포함) 적정성 여부 감리자 상주 여부 필수확인점 지점 적정성 여부 | 계약당사자, 감리 대상재(도급인 포함) 적정성 여부 감리자 상주 여부 필수확인점 지점 적정성 여부 | | | 계약당사자, 감리 대상재(도급인 포함) 적정성 여부 감리자 상주 여부 필수확인점 지점 적정성 여부 |
| 해체공사 승인 | | | | | | |

IV. 수주조직부문의 위험성평가 참여 관련 요망

2) 열매체유 보일러 화재·폭발사고

〈표 IV-4〉의 내용은 보일러 및 열매체유 사용 사업장의 구매부서, 연구개발부서, 공정설계제작부서, 검수부서, 생산부서, 정비부서 및 연구용 및 생산용 보일러 제조 또는 열매체유 제조와 관련 부품 제조 등 납품협력업체로 역할 참여자를 구분하였다. 산업현장에서는 해당 사업장의 부서명이 다르더라도 고유 업무기능이 비슷하다면 이 연구에서 구분한 역할부서와 같은 의미로 받아들이면 된다. 업무단계는 발주·계약¹²⁴⁾, 연구개발용 설계·제작·납품·검수·작업지침서 작성·점검·정비, 생산 및 부속설비용 설계·제작·납품·설치·시운전·작업지침서 작성·정비계획 수립 및 설비관리·정비·점검·교체·시운전의 단계로 구분하였다.

전통적 방식은 3건의 열매체유 관련 과거 사고사례를 중심으로 보일러 및 열매체유를 사용하는 사업장의 업무부서별 역할에 초점을 맞췄다. 분석과 자문을 통해 발굴된 위험요인(사고예방을 위한 기술적 핵심사항에 중점) 86건의 문제점에서 전문가 자문평가방식으로 우선적으로 점검하고 확인할 항목 22건을 정리하여 체크리스트화 하였다. 시스템적 방식은 역시 3건(2건은 전통적 방식에서 분석된 사고와 동일)의 사고사례를 중심으로 하되, 업무단계별로 이루어지는 각 부서의 기능에 따른 사고예방 역할(절차적 사항에 중점)에 중점을 두었다.

참여 및 역할 내용은 전통적 방식과 시스템적 방식의 두 가지 분석방식에 따라 기술적 사항, 절차적 사항이라는 측면으로 차이가 있지만 위험성평가 과정에서 꼭 확인되고 개선조치 되어야 할 주요 내용을 선별한 것이다. 산업현장별로 실무에서는 우선순위가 다른 사례가 얼마든지 발굴될 수 있으므로 더 중요하고 긴급하다고 의견이 모아진 내용은 추가하여 적용하면 될 것이다.

124) 이 단계는 실무적으로 연구개발용의 설계 전·후, 연구개발용이 없을 경우 생산 및 부속설비의 설계 전·후에 어느 곳이나 위치할 수 있다.

〈표 IV-4〉 열매체유 보일러 화재·폭발사고 예방을 위한 중단계조조직부문의 위험성평가 참여 및 역할

| 구 분 | 구매부서 | 연구개발부서 | 공정설계제작부서 | 검사부서 | 생산부서 | 장비부서 | 협력업체 |
|-----------------------------|------|---|--|------|--------------------|-----------------------|----------------------------|
| 발주 계약 | | 발주사상에 안전장치 요구사항 반영, 견적서에 제언 | | | 발주사상에 안전장치 요구사항 반영 | | |
| 신제품 연구개발용 설비 설계 | | 시험생산 설비 및 취급 물질에 대한 사전안전성 검토 수행 적정성 여부 | 시험생산 설비 및 취급 물질에 대한 사전안전성 검토 수행 적정성 여부 안전밸브, 압력제한소, 위치, 기스, 누설지동차단기, 팽창탱크, 안전조치 사항 반영 | | | | 사전안전성 검토 결과의 협력업체 적정 전달 여부 |
| 연구개발용 설비제작 및 부품 요청 | | 사전안전성 검토 결과의 협력업체 적정 전달 여부 | | | | | 사전안전성 검토 결과의 협력업체 적정 전달 여부 |
| 연구개발용 설비 납품 | | | 안전조치의 반영 및 설치된 안전장치의 적정성 여부 | | | | |
| 연구개발용 설비 검사 | | | 담당자가 검사에 대한 전문지식과 경험을 갖추었는지 여부 | | | | |
| 연구개발용 설비 위험성 파악 및 작업지침서 작성 | | | 설비 관리지침 내용의 적정성 여부 위험성평가 수행자의 전문성 확보 여부 | | | | |
| 연구개발용 설비 점검 | | 설비 점검 담당자의 전문성 확보 여부 | | | | 설비 점검 담당자의 전문성 확보 여부 | |
| | | 점검 내역의 체계적 관리 여부 | | | | 점검 내역의 체계적 관리 여부 | |
| 연구개발용 설비 정비 | | 정비의 위험성 파악 및 설명 여부 | | | | 정비의 위험성 파악 및 설명 여부 | |
| | | 취급 물질의 위험성 및 정교 숙지 여부 | | | | 취급 물질의 위험성 및 정교 숙지 여부 | |
| | | 정비 내역의 체계적 관리 여부 | | | | 정비 내역의 체계적 관리 여부 | |
| 생산 및 부속설비 설계 | | | 생산설비의 안전장치 및 화재발발 예방시설의 적정성 여부 생산설비 및 취급물질에 대한 사전안전성 검토 수행 적정성 여부 설비의 취급물질 위험성 파악 및 기술적 대책의 적정성 여부 | | | | |
| 생산 및 부속설비 제작설치 요청 | | | 신규도입 설비의 법적 기준 충족 여부 법적 기준 부재 시 적용한 안전기준의 적정성 여부 | | | | |
| 생산 및 부속설비 납품, 설치 및 시운전 | | 생산설비 및 부속설비를 납품한 협력업체로부터 설비 안전사항과 열매체유 위험성을 명확하게 전달받았는지 여부 사용시업장에 납품협력업체가 시공 시 설계도면대로 정확히 설치, 열매체유 주입 시 기밀시험 등 누출 확인, 연소실 내부 열매체유 누출 또는 열매체유 순환배관계를 누유 여부 확인, 제어장치 불량 및 제어패널 정상작동 여부 확인, 기안성물질 체류공간 내 점화원 사용 여부 확인 등 | | | | | |
| 생산 및 부속설비 위험성 파악 및 작업지침서 작성 | | | 신규도입 설비 안전관리 방법의 적정성 여부 취급물질의 위험성 파악 여부 취급물질 관리방법의 적정성 여부 | | | | |

3) TMAH 급성중독사고

앞에서 이루어진 전통적 방식과 시스템적 방식의 두 가지 접근을 통해 TMAH를 개발 및 생산(제조)하는 사업장과 이를 납품받아 사용하는 사업장의 단계에서 사고예방에 도움이 되도록 위험성평가에 기반한 산업안전활동 측면의 세부 실천사항을 <표 IV-5>와 같이 도출하였다. <표 IV-5>는 두 가지 접근 방식을 통합하여 종합한 것이다. 이 연구의 사고사례에서는 개발·생산 사업장의 측면에 초점을 맞춰 분석이 수행되었기에 이에 대해 구체적으로 기술하였고, 이러한 제품을 납품받는 사용 사업장의 경우는 개발·생산 사업장의 부서 구분 및 업무단계와 유사하게 판단하여 적용할 수 있을 것이다.

사용하는 사업장의 경우 유해·위험물질을 사용하는 입장에서 제품 개발을 요청하는 경우 이와 관련된 개발·생산 사업장의 위험성평가 과정에 사전협의를 통해 가능한 범위에서 참여하여 관련 정보를 공유하고 향후 사용과 관련된 문제점에 대해서 미리 파악할 필요가 있다. 유해성과 위험성에 대한 정보가 충분히 확보되지 않으면 사용 사업장의 자체적인 위험성평가도 부실하게 이루어질 수밖에 없다. 정비(유지보수)작업의 경우는 사용 사업장도 개발·생산 사업장의 위험성평가 과정과 차이가 나지 않을 것이다. 사용하는 측면에서도 동일유사한 문제점이 나타날 확률이 높다고 보는 것이 타당할 것이기 때문이다.

TMAH와 같은 유해위험물질을 개발·생산하는 사업장의 경우 해당 조직 부문은 크게 연구개발부서, 제품시험부서, 생산(제조)부서, 정비부서로 간략히 대별하였다. 이 조직 형태는 이 연구의 사고사례 분석을 통해 파악한 조직 형태를 기본으로 하였다. 각 부서별 고유 업무 기능에 따라 축적되는 전문성과 경험에는 차이가 있기에 원칙적으로 사고예방에 도움이 되도록 관련 부서 간 협업하는 방식이 바람직하다. 협업의 경우 업무를 주관하는 부서는 각 사업장별로 직제에서 정해지거나 경영진 회의를 통해 정해질 것이다.

〈표 IV-5〉 TMAH 급성중독사고 예방을 위한 소단계소조직부문의 위험성평가 참여 및 역할

| 구분 | 연구개발부서 | 제품시험부서 | 생산(제조)부서 | 정비부서 | 사용·도급·수급 사업장 |
|------------|--------|---|---|------|--------------|
| 제품 개발 | | 개발대상 물질의 유해성·위험성 정보(유해위험성 제거, 안전조치, 주의사항 등) 파악 여부 개발 제품(물질)의 MSDS 작성 여부 작업절차; 방법의 작성성(TMAH에 접촉하지 않는) 여부 비상조치계획(사고발생 대응, 세척시설 위치, 대피경로 확보) 수립 | | | |
| 제품 생산 | | 생산 물질의 유해성·위험성 정보 파악 여부 생산 제품(물질)의 MSDS 작성 여부 작업절차; 방법 및 보호구(화학물질용 보호복·진면형 방독마스크·안전장갑·안전화)의 작성성 여부 비상조치계획 수립 | 유해성·위험성 정보 교육·숙지 여부 보호구 성능 확인 세척시설 확인 | | |
| 제품 생산 | | | 유해성·위험성 정보 파악·준수 여부 보호구 착용 여부 확인 | | |
| 샘플 테스트 지시 | | 안전작업절차서 작성 여부 위험상황 발생 시 대처방법 수립 및 교육 여부 취급물질의 유해성·위험성 교육 여부 샘플 테스트 장소·설비의 안전성 여부 유해성·위험성에 따른 작성 보호구 지급 여부 | | | |
| 샘플 테스트 | | 안전작업절차서 숙지 여부 위험상황 발생 시 대처방법 숙지 여부 취급물질의 유해성·위험성 파악 여부 샘플 테스트 장소·설비의 안전성 확인 여부 유해성·위험성에 따른 작성 보호구 착용 여부 | | | |
| 구매 | | | MSDS 내용 확인 및 유해위험성 등 정보 파악(제조사로부터) 유해위험물질로 간주(유발성, 세척력, 냄새 등) | | |
| 장비작업절차서 작성 | | | 위험작업인에도 불구하고 안전조치 없이 관행적 작업 여부 현장과 동일한 공안전자료의 최신화 및 확보 유해성·위험성 정보(유해위험성 제거, 안전조치, 주의사항 등) 파악 여부 작업절차; 방법의 작성성(TMAH에 접촉하지 않는) 여부 비상조치계획 수립 보호구(화학물질용 보호복·진면형 방독마스크·안전장갑·안전화) 작성성 여부 | | |

| 구분 | 연구개발부서 | 제품시험부서 | 생산(제조)부서 | 정비부서 | 사용·도급·수급 사업장 |
|---------|--|--------|--|--------------|--------------|
| 정비직업 지시 | | | 장기·수시 화학물질 취급작업의 유해성·위험성 파악 및 안전조치 수행 여부 작업장소의 안전시설 및 안전조치의 적정성 여부 * LOTO, TMAH 제거, 환기, 농도측정, 세척시설 위치 등 유해성·위험성에 따른 작업 보호구(수준, 성능 등 확인) 지급 여부 | 비상조치계획 수립·숙지 | |
| 정비직업 | | | 취급 물질 및 수행 작업의 유해성·위험성 숙지 여부 지급받은 보호구 적정 착용 여부 작업 중 위험상황 발생 시 대처 및 응급조치 방법 숙지 여부 | | |
| 안전지원 | 인전교육 내용(MSDS 정보, 비상조치계획, 작업절차, 작업자 이해 정도 등)의 적정성 여부 작업별 안전시설 및 안전조치의 적정 여부(관개사 외 출입통제, 작업 후 TMAH 제거 확인 등) 보호구 지급 및 착용의 적정성 여부 정비직업 인력 후 기동 전 안전장치 및 자동제어 기능 확인 및 보완 | | 위험성평가 수행 및 조치 결과의 적정성 여부 인전교육 내용(MSDS 정보, 비상조치계획, 작업절차, 작업자 이해 정도 등)의 적정성 여부 비상조치계획의 적정성 및 훈련 여부 안전작업허가제도 운영의 적정 여부 보호구 지급 및 착용의 적정성 여부 | | |

V. 결론

.....

V. 결 론

1. 위험성평가용 체크리스트의 제안과 활용

1) 체크리스트의 제안 및 쏘조직부문의 동참

이 연구의 핵심 과제는 산업현장의 쏘단계 산업활동에 걸쳐 각 사업장별 쏘조직부문이 산재예방활동의 일환으로 위험성평가에 실질적으로 참여하고, 그 역할을 수행할 수 있는 방안을 제안하는데 있다. 따라서 이 연구에서는 3종류의 사고사례 분석을 통해 체크리스트를 제안하고 있지만, 그간의 다른 연구와 달리 기술적 위험요인보다는 산업활동의 단계와 조직부문별 안전활동의 절차 및 역할에 중점을 두었다.

산업안전보건법은 산업활동에서 일어나는 거의 대부분의 유해위험요인을 제거하거나 개선하는 대책을 수립하는 의무를 사업주(건축물 해체공사의 경우 발주자, 도급인, 수급인 등)에게 부여하였다. 그 의무는 보통 안전보건 관리책임자, 관리감독자(조직부문의 장, 부서장 등)를 통해 이행되고 있다. 그런데 현재까지도 산업현장에서는 대체로 안전활동과 관련하여 사업주와 관리책임자를 보좌하고, 관리감독자에게 지도·조언하는 역할을 담당하도록 한 안전관리자 등이 관리감독자 역할까지 수행함으로써 현장에 안전관리와 활동이 여전히 제대로 정착되지 못한 실정에 있다고 평가되고 있다.

안전활동의 시작이자 중심이 되는 위험성평가는 우리나라도 산재예방활동의 기본 개념으로 받아 들인 지 상당한 기간이 지났다. 위험성평가와 관련하여 안전관리자 등 일부 직원들이 작업현장과 상관없이 책상에서 형식적으로 수행하던 악습은 버려야 한다. 처음에는 힘들고 매끄럽지 않더라도 사업장의 전체 관계자들이 함께 실질적으로 참여하는 관례를 만들어 나가야 한다. 이 연구의 결과는 그러한 위험성평가에 도움이 되는 체크리스트의 샘플

플을 제안한다.

특히, 안전활동이나 현장작업의 시작이 되는 연구개발, 설비구상, 제품기획 등의 단계(건축물 해체공사의 경우 계획 초기단계)에는 모든 관계자들이 함께 모여 향후 안전보건상 문제가 될 유해위험요인은 설계 전에 대책을 마련함이 옳다. 설계단계에 반영되면 간단하게 해소될 문제점들이, 미리 검토되지 않고 그냥 진행된다면 나중에는 마땅한 해결책이 없어 사고의 원인이 되거나 사용과정에 계속 골칫거리로 남을 수 있기 때문이다. 품질 관련 문제는 검토될 사항이 늘 많겠지만, 안전보건상 초기에 검토될 사항은 통상 품질사항만큼 많지 않다. 설계 이후 제조, 운반, 현장설치, 시운전, 생산, 정비, A/S 등에서 안전보건상 축적된 현장의 경험과 지식들이 설계단계에 반영될 수 있도록 시간이 좀 더 걸리고 힘들더라도 반드시 모든 단계의 모든 역할 주체들의 동참이 이루어져야 한다.

2) 체크리스트의 활용

각 사례별 사고분석에서 도출된 문제점은 분석 방식에 따라 차이가 다소 나타난다. 사고를 분석한 연구자는 각각 별도의 방법론으로 체크리스트를 제안하였다. 이 연구의 결과를 사업장에서 활용하는 측면에서는 분석을 통해 정리한 문제점과 이를 요약한 체크리스트를 참고하여 활용자인 사업장 작업특성과 여건에 맞춰 다시 구성하고 정리한 체크리스트를 만들어 사용할 수 있을 것이다. 위험성평가에서 정작 중요한 것은 현장에 잘 부합되어 활용이 편하고, 늘 실질적으로 활용되어야 한다는 것이다. 활용되지 않거나 형식적으로만 쓰이는 평가표는 잘못된 평가표일 것이다.

3) 체크리스트의 갱신(보완)

사업장에서 한 번 완성된 체크리스트라고 하여 계속 그대로 사용하는 것은 바람직하지 않다. 효과 높은 항목요소는 유지하더라도 사고예방에 영향

을 미치지 않거나 영향의 정도가 낮은 것으로 의견이 모아진 항목요소는 제거하여 효율성을 높이고, 새로 추가하여야 할 항목요소는 새롭게 의견을 모아 발굴하는 노력이 지속되어야 할 것이다. 산업현장의 여건과 그곳에서 근무하는 사람들이 변화하는 만큼 체크리스트도 그에 맞춰 지속적으로 변화시켜야 함이 옳을 것이다.

4) 체크리스트의 발전방향

이 연구에서 제시한 위험성평가 도구 체크리스트 항목은 전통적 방식, 시스템적 방식을 막론하고 연구자별 개인의 전문성과 통찰력에 좌우된다. 연구자 개인의 경험과 주관성이 강하게 반영되고 객관성과 타당성이 낮은 결과로 흔히 나타날 우려는 배제할 수 없다. 물론 수집한 자료의 질과 양에서 분석 수준은 대체적으로 그 결과가 비슷하게 나타날 것이므로 사고조사단계에서 충분히 축적된 자료가 분석 수준을 결정하는 것은 틀림없는 사실이다.

범죄예측 위험성평가 도구 개발도 초기에는 전통적 방식과 같이 개인의 전문성과 통찰력에 크게 의존하는 개발을 시도했고, 이후 계량적·통계적 요소를 반영하기 시작했다. 이러한 통계적 조사연구의 결과와 사례에 관한 조사경험에서 빈도가 높거나 범죄요인으로 간주되는 요인을 중심으로 점수화하게 되면서 한 단계 발전했다는 평가를 받게 되었다.

산업안전 측면의 위험성평가 도구의 개발도 이와 같은 방법으로 추진할 수 있다고 본다. 시간이 걸리겠지만 이런 방법은 분명히 지속적으로 추구해야 할 가치가 있다고 본다. 이렇게 개발된 체크리스트 샘플은 수많은 사업장에서 변형돼 좀 더 가치 있게 편하게 실질적으로 활용될 것이기 때문이다. 일례로, HCR-20과 함께 널리 쓰이는 범죄예측 평가 도구 VRAG도 수많은 연구에서 평균 7년간의 추적조사를 통해 항목요인들을 선별해 완성되기 시작했다.

2. 향후 연구과제와 한계점

1) 샘플 체크리스트의 완성도 제고

이 연구에서는 3종류 사고사례를 분석하여 문제점을 도출하고 이를 바탕으로 체크리스트 샘플을 제안하였다. 전통적 방식으로 분석된 열매체유 보일러 화재·폭발사고 분석에서 86건의 문제점 중 우선순위를 매기고자 3명의 화공전공 전문가에게 자문평가를 요청해 체크리스트를 제안하는 방법론을 적용하기도 하였다.

각 체크리스트는 해당 분야 사업장에서 사용될 때 어떤 문제점이 예상되는지 이 연구에서는 파악되지 못했다. 따라서 후속연구를 통해 해당 분야 산업현장의 관계자들이 제안된 체크리스트에 대해 어떻게 평가하고 무엇을 개선점으로 요구하는지 파악하여 보완된다면 충분히 활용성이 높은 실무용 체크리스트가 첫 버전으로 완성되었다고 볼 수 있을 것이다.

2) 사고재발을 방지하는데 도움이 되는 후속연구 과제

건축물 해체공사 중 붕괴사고 예방과 관련하여 해체업 자체의 구조적 영세성과 안전보건 역량 관련 문제점 해결 방안, 저가수주 근절 및 해체공사 분리발주의 필요성, 관련 전문가 양성 및 기술자격제도 도입 또는 구조기술사 참여 확대 방안 등의 연구가 필요할 것으로 보인다.¹²⁵⁾

열매체유 보일러 화재·폭발사고 예방과 관련하여 사고발생 시 화재의 확대를 차단할 수 있는 열매체유 긴급 회수용 저장탱크는 설치부지(장소) 및 비용 등의 문제로 안전설비로 투자되지 않는 경우가 발생하지 않도록 해결

125) 해체공사 전문가 양성 및 기술자격제도 도입과 관련하여 앞에서 기술하였듯이 일본은 해체공사의 계획단계부터 시공 및 폐기물 처리까지의 전체 과정에 대해 전문지식을 확보한 기술인력의 필요성을 일찍 느끼고 1994년부터 해체시공기사 자격시험 제도를 운영하고 있으며, 영국은 해체공사 관련 학회·대학교·협회 등의 기관에서 해체공사 전문가를 양성하고 관련 자격증은 영국해체공학협회에서 발급하고 있다.

방안을 찾는 연구가 필요하다. 또한, 전기를 열원으로 사용하는 전기식 열매체유 보일러의 경우 검사대상기기에 포함되지 않아 인허가 및 관리 주체가 없는 법의 사각지대에 있다. 특히 미래산업의 주역이 될 2차전지산업에 사용되는 빈도가 높아지고 있다. 전기식이라 하더라도 열매체유 보일러의 원천적 위험성이 사라지는 것은 아니다. 열 사용설비 인근에 설치되는 장점이 사고 발생 시에는 역으로 큰 위험이 될 수 있다. 전기식 열매체유 보일러가 기본적으로 갖추어야 할 강도, 제어·안전장치, 설치장소의 제한, 관리상의 조치 등의 안전기준 마련이 시급하므로 이에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

3) 연구의 한계점

이 연구에서는 생산단계 뿐만 아니라 설치·시운전단계의 작업부문(안전부서-생산부서, 안전부서-설계 또는 설치·시운전부서, 생산부서-설계 또는 설치·시운전부서, 위험성평가의 외부업체 위탁 작성 등) 간 소통체계 미흡에 따른 유해·위험성 정보의 공유 부족에 의한 사고 위험성, 작업과 관련된 기술적인 사고원인 외에 작업에 영향을 미치는 사회적·구조적 문제점, 협력업체와 관련된 부분의 검토 및 인적·물적 손실 외에 회사의 평판손상(이미지에 대한 부정적 영향)이나 작업지연에 따른 손실 부분까지 파악하고 싶었으나 관련 자료의 수집이 이루어지지 않아 일부 파악된 사항의 부분적 반영 정도에만 그친 점은 아쉬움으로 남았다.

여전히 우리는 사고의 원인과 대책을 기술적인 측면에 집중하여 조사하는 경향이 강하다. 향후 가능한 범위에서 사고 발생에 영향을 미치는 기술적 요인 외에 여러 다른 문제점들까지 광범위하게 선별하고, 조사단계에서부터 체계적으로 자료를 수집·분석·정리하여 축적함으로써 사고감소에 실질적으로 기여할 수 있는 연구가 수행되기를 기대해 본다.

참고문헌

- 강철상 등. 위험성평가 성과평가 및 발전 방안 연구. 안전보건공단. 2021.
- 고용노동부. 산업안전보건법, 법률 제18180호. 2021.
- 고용노동부. 산업안전보건법 시행령, 대통령령 제32528호. 2022.
- 고용노동부. 산업안전보건법 시행규칙, 고용노동부령 제336호. 2021.
- 고용노동부. 산업안전보건기준에 관한 규칙, 고용노동부령 제337호. 2021.
- 고용노동부. 사업장 위험성평가에 관한 지침. 고용노동부고시 제2020-53호. 2020.
- 고용노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준. 고용노동부고시 제2020-48호. 2020.
- 고용노동부, 안전보건공단. 철거·해체공사 표준안전작업 절차서. 2017.
- 국립환경과학원. 유독물질의 지정고시. 국립환경과학원고시 제2021-103호. 2021.
- 국토교통부. 건축물 해체계획서 작성 매뉴얼 및 표준서식. 2022.
- 국토교통부. 건축물 해체공사 감리업무 매뉴얼. 2022.
- 국토교통부 중앙건축물사고조사위원회. 광주 해체공사 붕괴사고 조사보고서. 2021.
- 국토교통부. 설계안전성 검토 업무 매뉴얼. 2017.

- 국토안전관리원. 건축물 해체계획서 검토 사례집. 2021.
- 국토일보. 해체산업 선진화 토론회 11월4일 개최. 보도자료. 2021.
- 김승원, 건축물 해체공사 중의 붕괴사고 원인과 대책. 한국건축구조기술사회. 2012.
- 김예성, 김진수. 건축물 해체 안전관리 현황 및 향후 과제. 국회입법조사처. 2021.
- 김형아, 김수근, 어원석 등. 급성중독 발생 화학물질 사업장 유통·관리 실태에 관한 조사 연구. 산업안전보건연구원. 2016.
- 박두용, 제무성, 윤재건 등. 위험성 평가제도의 도입방안에 대한 연구. 노동부. 2004.
- 박두용, 백도명, 이영순 등. 위험성 평가제도의 구체적인 도입방안에 관한 연구. 산업안전보건연구원. 2009.
- 박준호. 정량적 위험성 평가에 의한 소규모 건설현장의 안전작업 최적 매뉴얼 설계. 조선대학교대학원. 2014.
- 배재현. 건축철거 시 붕괴사고의 방지를 위한 제도적 논의. 국회입법조사처. 2012.
- 산업통상자원부. 열사용기자재의 검사 및 검사면제에 관한 기준. 산업통상자원부고시 제2021-133호. 2021.
- 산업통상자원부. 에너지이용합리화법, 법률 제18469호. 2022.
- 산업통상자원부, 에너지이용합리화법 시행규칙, 산업통상자원부령 제449호. 2022.

- 서울특별시. 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼. 2019.
- 소방청. 위험물안전관리법, 법률 제17518호. 2021.
- 소방청. 위험물안전관리법 시행규칙, 행정안전부령 제284호. 2021.
- 심학보, 전현수, 석원균. 지상 및 지하구조물 해체공사를 위한 구조 안전관리 방안 연구. (사)한국건축시공학회. 2021.
- 안전보건공단. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드북. 2021-미래전문기술원-643. 2021.
- 안전보건공단. 2019년 전국 작업환경실태조사 보고서. p. 190.
- 안전보건공단. 열매체유 누출 화재사고 사례 연구. 2016.
- 안전보건공단. 열매유 보일러에 관한 기술지침. KOSHA Guide D-40-2013. 2013.
- 안전보건공단. 해체공사 안전보건작업 기술지침(KOSHA GUIDE C-47-2017). 2017.
- 이근원, 이주엽. 공정안전관리 사업장의 열매체유 사용실태에 관한 연구. 한국가스학회지, 2014:18(5):33-39.
- 이근원, 이주엽. 열매체유 위험성과 열매체 시스템의 특성. Safety World, 2012:8(1):29-36.
- 이근원, 한인수, 이수희 등. 국내 화학공장의 열매체유 사용실태와 위험성 분석. 산업안전보건연구원. 2013
- 이민식, 김혜선. LSI-R을 이용한 성별·범죄유형별 재범유발요인. 형사정책연구 제20권 제1호(통권제77호). 2009.

- 이법호, 박성수. 성인보호관찰대상자에 대한 분류평가도구 개발에 관한 연구. 한국형사정책연구원. 2006.
- 이수정, 황의갑, 박선영. 재범방지를 위한 범죄자처우의 과학화에 관한 연구(I) 위험성평가도구 개발에 관한 연구. 한국형사정책연구원. 2010.
- 전재열. 해체산업 선진화를 위한 안전 및 전문성 강화 방안. 해체산업 선진화를 위한 안전성 강화 정책 토론회 발표자료. 2021.
- 정진수, 조윤오, 이수정 등. 재범방지를 위한 범죄자처우의 과학화에 관한 연구(II). 한국형사정책연구원. 2011.
- 정홍인, 신상문, 이용희 등. 위험성평가 실용화 방안. 한국산업안전보건공단. 2019.
- 최성식, 성민우, 함훈국 등. 해체공사 안전관리 평가기준에 관한 연구. 한국건설관리학회. 2010.
- 최종수, 허성태, 고원준 등. 건축물 해체공사의 통합 안전관리 가이드라인 개발 및 적용성 평가. 한국건설관리학회. 2010.
- 최재욱·이영순 등. 사업장 유해위험성 평가기법 개발 및 국내 적용방안 연구. 2006.
- 하기주, 하재훈. 국내 해체공사 안전관리 법령의 체계적인 개선방안. 경일대학교 등. 구조물진단학회. 2010.
- 하기주, 하재훈. 국내 해체공사의 활성화를 위한 국가기술자격제도 도입방안에 관한 연구. 대한건축학회. 2013.
- 한국에너지공단, 「2021 에너지통계 핸드북」

- 화학물질안전원, 유해화학물질별 구체적인 취급기준에 관한 규정, 화학물질 안전원고시 제2018-1호, 2018.
- 환경부. 유독물질, 제한물질, 금지물질 및 허가물질의 규정수량에 관한 규정, 환경부고시 제2022-70호. 2022.
- 환경부. 화학물질관리법, 법률 제18420호. 2021.
- 환경부. 화학물질관리법 시행규칙, 환경부령 제968호. 2022.
- 국토일보, 2021.11.8., “[해체산업 정책토론] 해체공사 시스템 확립 시행해야”
- 연합뉴스 등 언론보도, 2021.8.9., “광주 건물붕괴는 인재…불법 재하도급에 공사비 1/7로 줄어”
- BUREAU OF RECLAMATION, Hoover Dam. usbr.gov/lc/hooverdam/history/essays/fatal.html.
- C. Lin, C. Yang, J. Ger, et al. Tetramethylammonium hydroxide poisoning. *Chemical Toxicology*. Vol. 48. No. 3. pp. 213-217. 2010.
- KRAS 위험성평가 지원시스템; kras.kosha.or.kr
- Leveson, N.. A New Accident Model for Engineering Safer Systems. *Safety Science* 2004;42(4):237-270
- Leveson, N.. CAST HANDBOOK: How to Learn More from Incidents and Accidents. 2019
- LYST. Women’s Black Ridged Sole Boots. lyst.com/shoes/rundholz-ridged-sole-boots/

Reducing risks, protecting people. HSE. 2001.

Rundholz Leather Ridged Sole Boots in Black|Lyst; [google.com/search?q=flat+boot+ridged+sole](https://www.google.com/search?q=flat+boot+ridged+sole)

Sarah Desmarais, Jay Singh. Risk Assesment Instruments Validated and Implemented in Correctional Settings in the United States. 2013.

Abstract

Objectives : Occupational safety is not the task of any one department. Safety is a fundamental task of all business processes and of all organizational members. In addition, it is now necessary to find factors affecting the occurrence of accidents from multiple perspectives, away from safety centered on technical matters. In this study, we find ways to participate in risk assessment of the entire organizational sector(department) in the occupational field and examine its role.

Method : This study deduces problems by analyzing the causes and processes of accident occurrence, focusing on three types of accident cases, and makes a checklist of important items among them. The three types of accidents are collapse accidents during dismantling of buildings, thermal oil boiler fire and explosion accidents, and TMAH acute poisoning accidents.

The analysis work is performed by separating the research teams from the traditional method and the systematic analysis method, and the differences in the resulting checklists are identified. In addition, a comparative review of the crime prediction risk assessment tools was performed to understand the rationality of the checklists items derivation task and to suggest the future development direction of the checklists.

Results : Three types of checklists were presented according to two analysis methods, respectively. All six checklists. Items in the traditional checklists were found to be technically oriented. On the other hand, it was found that the items of the systematic checklist occupied a significant portion in understanding the organization's understanding, roles, and what they did and did not do. If the two analysis methods are used complementary to each other, it is thought that they will exert a great effect.

Conclusion : As a risk assessment tool used in occupational sites, the checklists should be simple enough for on-site supervisors to easily understand and intuitively understand their roles. Even in a large-scale enterprise with many organizational divisions and complexity, the division of roles should be immediately understood. In addition, it should be easy to understand so that field workers in small businesses, who are always short of staff, can easily and easily apply directly to the field. The less paperwork, the better it will be accepted in the field. And the essential items necessary for accident prevention should not be missed. The checklists should be created differently according to the site conditions, listening to the opinions of experts and staff. From time to time, it is necessary to check whether necessary items are omitted from the items of the Cheeklists and to supplement them or to exclude unnecessary items.

Key words : Risk assessment, Risk Assessment Techniques, Risk Assessment Tool, Supervisor, Check list, Organization, Sector, Department, Participation, Role

부 록

.....
.....
.....

〈부록〉 메탄올 급성중독사고에 대한 분석

□ 사고 개요

2015년12월30일 경기도 부천시 소재 ○○ENG에서 메탄올을 이용하여 휴대폰 부속품을 만드는 공정에 근무하던 재해자가 메탄올 급성중독으로 쓰러져, 한쪽 눈은 실명하고 다른 한쪽 눈은 심하게 손상되는 뇌병증 진단을 받은 사고임

1) 사업장 개요

| | |
|------|---|
| 사업장명 | ○○ENG |
| 소재지 | 경기도 부천시 |
| 업종 | (산재보험신고) 인쇄업 (실제) 기타금속제품제조업 또는 금속가공업 |
| 설립연도 | 2008년 |
| 근로자수 | 74명 (직접고용 17명, 파견근로 57명) |
| 생산품 | 휴대폰 조작버튼 (홈버튼 및 사이드버튼) |
| 생산량 | 약 5,000만개/월 |
| 설비현황 | 절삭설비(CNC) 66대 |
| 유해물질 | 메탄올(메틸알코올), 알루미늄 분진 |
| 환기시설 | 전체 환기용 팬 6대 및 급·배기설비 |

2) 재해자 정보 및 상해 정도

| 성명 | 소속 | 고용형태 | 직종 | 경력(입사) | 상해정도 |
|-----|-------|----------------|-----|--------------------|------|
| ○○○ | ○○솔루션 | 파견 (3개월 계약) | 생산직 | 8일 (2015.12.22) | 실명 |

3) 공정

| 생산 공정 | 공정 설명 | 유해물질 |
|-------------|------------------------|-------------------------|
| 지그 이물질 확인 | 절삭설비(CNC) 지그 상부 이물질 확인 | 메틸알코올* 알루미늄 분진 소음 |
| 시방서 확인 | 조작화면 상에 시방서 일치 여부 확인 | |
| 알루미늄 판 안착 | 지그 상부 알루미늄 판 안착 | |
| 절삭가공 | 알루미늄 판 절삭 | |
| 건조 및 제품 확인 | 절삭유 건조 및 제품 이상 확인 | |
| 탈착 및 트레이 삽입 | 절삭된 제품 탈착 및 트레이 삽입 | |

* 절삭가공 시 발생하는 마찰열을 감소시키기 위하여 통상 절삭유를 사용하나, 이 사업장은 절삭유 제거 및 건조 작업을 줄이기 위하여 메탄올을 절삭유로 사용하였음

4) 기인물

| | | |
|--------------|---|---|
| 물질명 | 메탄올 | |
| 사용량 | 절삭설비 1대당 18L/일 | |
| 노출 작업 | 알루미늄 판 절삭 및 건조작업 절삭유 보충 작업 | |
| 물질 특성 | 모양/냄새 | 무색/코를 찌르는 알코올 냄새 |
| | 급성중독 | (신경계) 노출 후 30분~2시간 내 중추신경계 억제 (소화계) 심각한 대사성 산증 및 오심, 구토 (눈) 노출 12~48시간 후 경한 광선공포증부터 실명 (피부) 피부자극, 피부마름, 발적 |
| | 만성중독 | (신경계) 두통, 시야 흐림, 메스꺼움 등 중추신경계 억제 (눈) 실명 등 시각장애 |
| 산업안전 보건법상 규제 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업환경측정 대상 유해인자 • 특수건강진단 대상 유해인자 • 관리대상 유해물질 <ul style="list-style-type: none"> - (보건조치) 국소배기장치, 호흡보호구, 유해성 주지, 세척시설, 물 질안전보건자료, 특별안전보건교육 등 • 노출기준 설정물질 <ul style="list-style-type: none"> - 8시간 노출기준(TWA): 200 ppm, 단시간노출기준(STEL): 250 ppm | |

5) 메탄올 노출 경로

| | |
|----------------------|--|
| 알루미늄 판 절삭 및 건조 작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 제품에 따라 1~5회 가공을 반복하며 가공시간은 보통 2~3분 소요 • 절삭설비에서 제품이 가공되는 동안 메탄올이 지속적으로 분사됨 • 가공 후 남아있는 메탄올을 제거하기 위해 에어건을 사용하여 건조시킴 • 작업을 통해 메탄올이 눈과 피부 등에 튀고 작업장 공기 중에 유증기로 남아 호흡기로 흡입되었을 것으로 추정 |
| 절삭유 보충작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 해당 사업장은 절삭설비를 총 66대 보유하고 있으며, 절삭설비 1대당 메탄올 사용량은 18L/일 • 절삭유 보충작업은 2인 1조로, 1일 2회(6시, 19시) 실시됨 • 작업은 깔때기를 사용하여 절삭유 통에 직접 부어넣는 방식으로 이루어짐 • 작업 동안 작업자가 고농도의 메탄올에 노출되었을 것으로 추정 |

6) 작업환경측정 결과

| 연번 | 공정 | 유해인자 | 측정방법 | 측정결과 (TWA) | 노출기준 (TWA) | 평가결과 |
|----|------|------|------|---------------|---------------|------|
| 1 | 검사 | 메탄올 | 개인 | 231.1 ppm | 200 ppm | 초과 |
| 2 | 배면 | | 개인 | 347.9 ppm | 200 ppm | 초과 |
| 3 | 다이아컷 | | 개인 | 252.9 ppm | 200 ppm | 초과 |
| 4 | 상면1 | | 개인 | 228.5 ppm | 200 ppm | 초과 |
| 5 | 상면2 | | 개인 | 417.7 ppm | 200 ppm | 초과 |

7) 자료별 주요 내용

| 연번 | 기관 | 제목 | 주요 내용 |
|----|----------|----------------------------|---|
| 1 | 안전보건공단 | 메탄올 중독발생 유사 사업장 근로자 건강환경조사 | <ul style="list-style-type: none"> • 사고발생 공정의 메틸알코올 취급과 질환의 연계 가능성을 조사 • 역학조사 결과 조사대상(유사 공정 종사자 12,048명)의 시각장애 수진율은 국민건강보험 가입자 전체 수진율(0.12~ 0.13%)대비 1.4배에서 2배 높았음 • 조사대상자는 근무 사업장이 자주 바뀌었고 단기간 근무하였으며 대다수 고용보험에 미가입 상태였음 • 조사대상이 근무하였던 사업장의 작업환경측정 실시율은 10.8%였으며, 메탄올 검출은 대부분 10ppm 미만으로 보고됨 • 조사대상자의 74.5%는 특수건강진단 경험이 없었음 |
| 2 | 서울중앙지방법원 | 형사 및 손해배상 판결문 | <ul style="list-style-type: none"> • 사용사업주에 대한 범죄사실 확정 <ul style="list-style-type: none"> - 산업안전보건법 위반 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 국소배기장치 미설치 ◦ 관리대상 유해물질 저장장소 위반 ◦ 배치전 관리대상 유해물질 유해성 주지 위반 ◦ 적정한 보호구 미지급 - 파견근로자보호등에 관한 법률 위반 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 파견근로 가능 업무에 해당하지 않으므로 불법파견으로 인정 |

8) 자료별 발생 원인 및 대책

○ 보건진단보고서 및 재해조사의견서

| 발생 원인 | 대책 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 안전보건관리조직 미구성 <ul style="list-style-type: none"> - 안전관리자, 보건관리자, 관리감독자 미선임 - 관리자 외 전원 파견근로자로 관리 사각지대 발생 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전보건관리조직체계 구성 및 직무교육 실시 |

| 발생 원인 | 대책 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 안전보건교육 미실시 <ul style="list-style-type: none"> - 사업주 포함 전원 산업안전보건법 인식 부재 | <ul style="list-style-type: none"> • 근로자 대상 안전보건교육 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 정기교육, 채용 시 교육, 특별안전보건 교육 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 위험성평가 미실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 위험성평가 실시 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 작업환경측정 미실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업환경측정 실시 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 근로자 건강진단 미실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 근로자 대상 건강진단 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 사무직 근로자: 일반건강진단 - 현장 근로자: 배치전건강진단, 특수건강진단 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 물질안전보건자료 게시·비치·교육, 경고 표지 부착 미실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 물질안전보건자료 게시·비치 <ul style="list-style-type: none"> - 메탄올 용기에 경고표지 부착 - 취급상의 주의사항 등 교육 실시 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 안전보건표지 미부착 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전보건표지 부착 <ul style="list-style-type: none"> - 인화성 물질 경고, 발암성·변이원성·생식독성·전신독성·호흡기 과민성 물질 경고, 방독마스크 착용, 보안경 착용 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 개인보호구 착용 미흡 | <ul style="list-style-type: none"> • 개인보호구 지급 및 착용 <ul style="list-style-type: none"> - 방독마스크, 보안경, 방음보호구, 안전장갑 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 환기시스템 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 국소배기장치 미설치 - 절삭가공기 완전 개방 상태 | <ul style="list-style-type: none"> • 국소배기장치 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 관리대상 유해물질 관련 설비로 유해·위험방지계획서 작성 대상 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 유해물질 취급 및 관리 미흡 | <ul style="list-style-type: none"> • 유해물질 취급 및 관리 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 근로자 배치 시 유해성 주지 - 취급 장소에 명칭 등 관리요령 게시 |

○ 메탄올 중독발생 유사 사업장 근로자 건강환경조사

| 발생 원인 | 대책 |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 사업장의 잦은 이동, 단기간 근로, 파견업체 소속 근로자에 대한 체계적인 작업환경관리, 건강관리제도 미비 | <ul style="list-style-type: none"> • 직업성 질환 의심 사례 신고제도 신설 • 잦은 이동, 단기간 근무, 파견근로자를 위한 별도의 건강관리제도 연구 필요 |

9) 동종사고 발생 원인(2건)

○ ○○테크(재해조사의견서)

- CNC 공정 중 에탄올이 떨어져 배송될 때까지 메탄올을 이용하여 작업(4일간 약 200L의 메탄올 사용)

| 발생 원인 | 대책 |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| • 배치전건강진단 및 특수건강진단 미실시 | • 배치전건강진단 및 특수건강진단 실시 |
| • 국소배기장치 미설치 | • 국소배기장치 설치 |
| • 물질안전보건자료 게시·비치·교육, 경고 표지 부착 미실시 | • MSDS 게시, 경고표지 부착 및 교육 실시 |
| • 부적정한 보호구 착용 | • 적절한 보호구 착용 - 방독마스크, 송기마스크, 보안경 |
| • 에어건 사용으로 인한 메탄올 확산 | • 에어건 사용 금지 - 형검 사용 등 작업방법 변경 |

○ □ □ 테크(보건진단보고서, 재해조사의견서)

- 32대의 CNC 가공 설비, 설비 당 하루에 17L의 메탄올 사용
- CNC 작업장의 출입문을 통해 검사실로 고농도의 메탄올 증기가 유입

| 발생 원인 | 대책 |
|---|--|
| • 안전보건교육 미실시 | • 안전보건교육 실시 - 정기, 채용시, 작업내용 변경시, 특별안전보건교육 |
| • 위험성평가 미실시 | • 위험성평가 실시 |
| • 환기시스템 미흡 - 국소배기장치를 설치하였지만 성능 미흡 - 국소배기장치 설치 시 유해위험방지계획서 미제출 | • 국소배기장치 설치 시 방지계획서 제출 - 배풍량 150m ³ /min 이상 |
| • 안전보건표지 미부착 | • 안전보건표지 부착 |
| • 물질안전보건자료 게시·비치·교육, 경고표지 부착 미실시 | • 물질안전보건자료 게시·비치·경고표지 부착, 교육실시 |
| • 작업환경측정 미실시 | • 작업환경측정 실시 |
| • 배치전, 특수건강진단 미실시 | • 배치전, 특수건강진단 실시 |
| • 메틸알코올 고농도 노출 | • 물질 대체 검토: 메탄올 → 에탄올 |
| • 에어건 사용으로 인한 메탄올 확산 | • 에어건 사용방법 개선 |
| • 유해물질 저장 용기를 사무실 내 보관 및 증기 노출 | • 메탄올 소분용기 등 밀폐 조치 • 메탄올 저장 장소 지정 - 증기 배출 시설 조치 • 유해물질 취급 및 관리 개선 - 근로자 배치시 유해성 교육 - 취급 장소에 명칭 등 관리요령 게시 • CNC 가공실 및 검사실 출입문 개폐 조치 |
| • 개인보호구 착용 미흡 | • 개인보호구 지급 및 착용 - 방독마스크, 보안경, 안전장갑 |

10) 메탄올 급성중독사고 관련 전문가 자문 현황

| 일자 | 자문 전문가 | 주요 자문 내용 |
|-------|---------------|--|
| 4.18. | 안전보건공단 연구원 | <ul style="list-style-type: none"> • 2015년에 스마트폰 생산이 많아져 유사 공정 근로자가 많아짐 • 세척은 일반적으로 에탄올을 사용하며, 에탄올을 사용하면 사고가 발생하지 않았을 것 • 에탄올도 위험성은 있기 때문에 국소배기장치는 필수적으로 설치해야함 • 보안경은 유증기로 인한 시신경 장애를 예방하는데 적정치 않음 • 사업장 내 세척시설이 있을 경우, 급성 중독(유해물질이 튄 경우)으로 인한 사고 예방 가능 • 배치전건강진단은 해야하지만 거의 실행하지 않아 특수건강진단으로 직업병을 판단할 수 밖에 없음 • 병원에서 환자에게 직업을 물어보지 않아 직업병을 놓치는 문제 |
| 4.27. | 사용 사업장 | <ul style="list-style-type: none"> • 메탄올의 위험성은 유해위험물질 지정 이후 알게 되고 국소배기장치 등 관련 안전조치를 수행함 • 메탄올을 대체할 수 있는 물질을 찾으려고 했지만 비용적인 제약으로 적합한 물질을 찾지 못함 • 메탄올 구매단계에서는 함량과 비율만 확인함 • 국소배기장치의 후드는 유증기를 포집할 수 있게 설치해야 하지만, 작업적 제약으로 유증기가 후드로 포집되지 못하는 구조로 되어 있음 • 메탄올 취급에 관한 위험성평가 때, 화재위험성만 고려할 뿐 독성에 관한 위험은 고려하지 않음 • 작업자가 방독마스크 등 보호구를 착용하지 않는 것으로 확인 • 해당 작업장에서는 메탄올 용기를 옥외에서 보관 및 폐기하지만 소분해서 보관하지 않음 |
| 4.29. | 학계 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업특성상, 휘발이 잘되는 알콜류를 선호하며 에탄올과 메탄올은 비점이 유사하기 때문에 성능 차이는 없음 • CNC 기계에 절삭유는 에탄올을 사용하도록 되어있지만 모르거나 가격 차이로 인해 메탄올을 사용함 • 사고를 사전 예방하는 방법으로 작업환경측정과 특수건강진단, 화학물질위험성평가가 있음 • 피부 접촉에 대한 위험성 평가 필요 • 특수건강진단과 작업환경측정 결과를 서로 연관하여 확인할 필요 • 국소배기장치의 후드가 유증기를 포집하기 어려운 경우, 포집 |

| 일자 | 자문 전문가 | 주요 자문 내용 |
|------|---------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • 할 수 있도록 기류판 및 가드를 설치해야 함 • MSDS에 독성표지가 있으면 뒷 페이지의 설명자료를 확인해야 하지만 현장에서는 확인해야한다는 사실을 모르고 있음 |
| 5.3. | 안전보건공단 교육원 | <ul style="list-style-type: none"> • 화학물질의 안전보건조치사항에 대한 사업주의 인식부재로 사고 예방이 어려우므로 사업을 시작하기 전에 사업주가 교육을 수강하도록 제언 • MSDS에는 물질에 대한 많은 정보가 있기 때문에 사업주가 인식고 반영할 필요가 있고 이를 위해 MSDS의 위험한 사항을 요약한 자료를 작성하여 사업주에게 제공하는 방법 권고 • 환기장치는 유지보수가 중요하지만 에어건을 사용할 경우 국소 배기장치의 목적을 달성하기 어렵고 글로브 박스를 이용하면 안전함 • 계절적인 한계로 국소배기장치의 성능이 낮아질 수 있음 • 작업환경측정은 시간대별로 측정해야하며, 실제 근로시간을 반영한 노출 기준을 고려해야함 • 고농도로 연속 작업할 경우, 특수건강진단을 하기 전에 직업병이 발생할 수 있고 불법체류자와 파견근로자에 대한 특수건강진단을 실시하기 어려운 문제 • 작업현장에서 보호구를 착용한 채로 작업하기 어렵기 때문에 환기장치 설치가 우선적임 • 원청에서 하청에게 안전에 관한 사항들을 자문해주어야 함 |
| 5.3. | 안전보건공단 본부 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업지시서에 원청에서 메탄올을 사용하였지만 위험성과 안전 조치에 대한 정보는 전달하지 않음(화학물질의 위험성과 안전 조치에 대한 원청의 관리가 필요) • CNC 작업은 스피드가 빠르고 정밀한 부품을 제작하기 때문에 증발력이 강한 알콜류(메탄올, 에탄올 등)를 사용할 수밖에 없어 사고를 예방하기 위한 안전조치가 필수적임 • 파견근로자가 해당 작업을 하면 안 되지만, 전자산업은 1년 중 2~3개월만 일하는 특성이 있기 때문에 파견근로자를 고용할 수밖에 없고 이에 대한 제도적인 보완이 필요함 • 급성중독이 발생한 물질(메탄올, TMAH, 불산, 황산 등)은 제조 단계에서부터 사용단계까지 핵심 위험요인을 전달하고 주지시킬 필요 있음 • 취급하는 화학물질과 취급·작업방법의 위험성을 확인하는 단계가 필요(휘발성, 세척력, 냄새가 있으면 위험하다고 볼 수 있음) |
| 5.4. | 학계 | <ul style="list-style-type: none"> • 에어건을 사용할 경우, 증기가 확산되는데 이러한 증기를 포집 |

| 일자 | 자문 전문가 | 주요 자문 내용 |
|----|--------|---|
| | | <p>할 수 있는 충분한 설비 공간이 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> • MSDS의 정보가 정확하다고 확인할 수 있는 단계가 필요 • MSDS 전달이 미흡하여 사업주와 작업자에게 유해성을 알리지 못함 • 에탄올은 휘발되고도 잔상이 남는 문제가 있음 • 메탄올은 관리대상 유해물질임에도 불구하고 작업환경 측정, 보호구, 바닥재 등에 대한 사업주의 관리가 미흡 |

□ 메탄올 급성중독사고에 대한 시스템적 분석

메탄올 급성중독 사고와 관련하여 안전보건공단 재해조사의견서와 역학조사보고서, 노동건강연대와 한국산업보건학회가 공동으로 발간한 연구보고서 등을 활용하여 STAMP-CAST를 이용한 시스템적 사고 분석을 수행하였다. 분석 결과를 이용하여 메탄올 등 화학물질 취급 전, 중, 후에 확인해야 할 안전보건과 관련된 목록(체크리스트)을 제시하였다.

1) 시스템 제어 구조

[그림 1]에는 메탄올 급성중독 사고가 발생한 사업장을 중심으로 제어구조를 나타냈다. 해당 제어구조는 휴대폰 부품을 생산하고 있는 3차 협력사인 A ENG를 중심으로 <표 1>과 같은 구성요소로 구성된다. 그리고 제어구조도에서 존재하지 않았던 부서나 기관 등은 점선으로 나타냈고, 수행하지 않은 업무(사항)도 점선으로 표시하였다.

<표 1> 메탄올 중독사고 관련 시스템 구성요소

| 연번 | 시스템 구성요소명 | 구분 |
|----|--------------------------|-------|
| 1 | 3차 협력업체의 CEO, 경영부서 | A ENG |
| 2 | 3차 협력업체의 생산공정 및 생산작업 | - |
| 3 | 인력 파견업체 | B 솔루션 |
| 4 | 인력 파견업체 소속의 생산 작업자 | - |
| 5 | 휴대폰 생산 모기업 | C 전자 |
| 6 | 1차 협력업체 | - |
| 7 | 2차 협력업체 | - |
| 8 | 기계설비 설계·시공·납품업체 | - |
| 9 | 재료·부자재 납품업체 | - |
| 10 | 특수건강검진기관 | - |
| 11 | 작업환경측정기관 | - |
| 12 | 외부기관(지자체, 안전보건관리 전문기관 등) | - |

2) 업무 흐름

휴대폰 부품 생산을 위한 세부 업무 흐름은 <표 2>와 같고, [그림 1]에 해당 업무에 따라 숫자로 표기하였다. 주요 업무 내용을 <표 2>의 순서를 기반으로 살펴보면, 우선 사용할 공장을 임대계약하고 지자체에 공장등록을 진행하고 이어 생산과 관련된 기계·설비를 설계하여 공장에 설치한다. 이 과정에서 유해위험방지계획서 제출 대상에 해당될 경우 안전보건공단의 심사를 받는다. 이후 생산 발주 과정을 거쳐 생산 물량과 생산품의 명세를 정하며, 이어 공정설계와 재료 및 부자재, 생산 인력 등을 준비하고 생산작업을 수행하게 된다.

<표 2> 휴대폰 부품 생산 관련 업무 흐름

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|----------------------|--|
| 1 | 공장 임대계약 | A ENG 사업주 ↔ 공장 임대인 |
| 2 | 공장등록 신청 및 승인 | (신청) A ENG → 00시청 (승인) 00시청 → A ENG |
| 3 | 기계설비 설계 및 시공 요청 | A ENG 사업주 → 설비 시공업체 |
| 4 | 유해위험방지계획서 심사 신청 및 승인 | (신청) A ENG → 안전보건공단 (심사) 안전보건공단 → A ENG |
| 5 | 기계설비 제작 및 설치 | 기계설비 시공업체 → A ENG |
| 6 | 기계기구 납품 요청 | A ENG 사업주 → 기계기구 납품업체 |
| 7 | 기계기구 납품 | 기계기구 납품업체 → A ENG 사업주 |
| 8 | 생산 발주(명세) | C 전자 → 1차 협력업체 |
| 9 | 생산 하청 | 1차 협력업체 → 2차 협력업체 |
| 10 | 생산 재하청 | 2차 협력업체 → 3차협력업체(A ENG) |
| 11 | 공정설계 지시 | A ENG 관리부서 → 생산공정설계부서 |
| 12 | 공정설계 결과(제작시방서) 송부 | A ENG 생산공정설계부서 → 생산부서 |
| 13 | 재료 및 부자재 납품요청 | A ENG → 재료 및 부자재 납품업체 |
| 14 | 재료 및 부자재 납품 | 재료 및 부자재 납품업체 → A ENG |

| 순서 | 업무내용 | 수행자 구분 |
|----|--------------------|-------------------------|
| 15 | 생산인력 파견 요청 | A ENG → 인력파견업체(B 솔루션) |
| 16 | 생산인력 파견 | 인력파견업체(B 솔루션) → A ENG |
| 17 | 생산지시 | A ENG 관리부서 → 생산부서 |
| 18 | 안전교육 및 작업전 안전조치 | A ENG 생산부서 → 작업자(B 솔루션) |
| 19 | 생산작업지시 | A ENG 생산부서 → 작업자(B 솔루션) |
| 20 | 생산작업 | 작업자(B 솔루션) → 생산공정 및 설비 |
| | 생산공정 | - |
| 21 | 특수건강검진 및 작업환경측정 요청 | A ENG 관리부서 → 특수건강검진기관 |
| | | A ENG 관리부서 → 작업환경측정기관 |
| 22 | 특수건강검진 실시 | 특수건강검진기관 → 생산작업자(B 솔루션) |

3) 시스템 구성요소별 사고원인요소

시스템의 구성요소 각각에 대해서 안전책임, 결정오류, 결정배경, 결함 등을 분석하여 <표 3>에서 <표 9>까지 제시하였다. 시스템 구성요소 간의 상호관계와 통제(Control) 내용은 [그림 1]을 통해 파악할 수 있다.

<표 3> 법적 사항과 관련된 안전책임, 결정오류 및 결함

| |
|---|
| <p>산업안전보건법, 파견근로자 보호 등에 관한 법률, 산업집적활성화 및 공장설비에 관한 법률, 중소기업 창업지원법 (안전 책임)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 일하는 사람의 안전·보건 유지 및 증진 <p>(결정 오류)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 해당없음 <p>(결정 배경)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 해당없음 <p>(결함)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 공장 등록 시 유해위험방지계획서, 공정안전보고서 제출 대상이 아닌 경우, 제도적으로 안전 확인 불가 • 사업을 시작하는 소규모 공장 사업주가 스스로 안전 조치를 할 수 있도록 유도하는 |
|---|

- 제도적인 방법 및 체계 미흡
- 법적 규제(신고, 허가 등)를 받지 않는 소규모 사업장의 안전은 사업주의 안전 의지, 역량에 의지해야 함

〈표 4〉 3차 협력사(A ENG)의 안전책임, 결정오류 및 결함

□ CEO & 경영부서

(안전 책임)

- 산업재해 예방기준 준수
- 쾌적한 작업환경 조성 및 근로조건 개선
- 사업장의 안전 및 보건에 관한 정보를 근로자에게 제공

(결정 오류)

- 화학물질 취급 공정에 부적절한 건물 임대 후 공장으로 사용
- 근로자 파견이 법적으로 금지된 직접 생산공정의 업무를 파견 근로자 위주로 수행
- 사업장을 실제와 다른 인쇄업으로 등록
- 가공부가 개방된 CNC 선정

(결정 배경)

- 투자비용, 생산비용, 인건비 절감
- 기존 유사업종의 관행대로 공장 설립 및 운영
- 휴대폰 부품 발주 물량의 변동성이 큼

(결함)

- 산업안전보건법의 존재를 인식하지 못함
- 안전보건교육 필요성을 인식하지 못함
- 국소배기장치 설치 필요성을 인식하지 못함
- 작업자에게 적절한 보호구를 지급하지 않음
- 취급물질(메탄올)의 위험성을 파악하지 못함
- 메탄올의 작업장 내 노출기준을 확인하지 못함

(법적 의무 미이행 사항)

- 산업안전보건관리체계를 갖추지 않음(안전관리자, 보건관리자, 관리감독자 미선임)
- 배치 전 건강검진, 특수건강검진 및 작업환경측정 미실시
- 위험물질 확산 방지를 위한 안전설비(국소배기장치)를 설치하지 않음
- 위험성평가 미실시(사업장 유해·위험요인 개선조치 미실시)
- 파견 근로자에 대한 안전보건교육 미실시(정기교육, 파견자 교육, 배치전 교육, 특별 안전교육 등)
- 보호구 미지급 또는 부적정한 보호구(면마스크) 지급
(송기마스크 등 호흡보호구, 내화학성 보호장갑 및 보호복, 보호장화, 보안경 등)
- 메탄올 등 위험물질 취급작업과 관련하여 물질안전보건자료(MSDS) 게시·비치 및

경고표시 부착 미흡

- 파견 근로자 관리 미흡(근무일지 미작성 등)

□ 생산공정 설계부서

(안전 책임)

- 안전한 생산 공정 설계

(결정 오류)

- 위험성이 높은 메탄올을 절삭유로 선정
- 메탄올이 도포되어 있는 가공 완료품을 에어건으로 탈착 후 메탄올을 에어건으로 제거하도록 함
- 메탄올을 깔때기를 사용하여 소분하도록 함

(결정 배경)

- 메탄올 가격은 에탄올의 1/3 수준

(결함)

- 메탄올의 위험성을 파악하지 못함
- 메탄올의 작업장 내 노출기준을 확인하지 못함
- 설계한 작업 공정의 위험성을 파악하지 못함
- 국소배기장치 설치 필요성을 인식하지 못함
- 메탄올의 작업장 내 노출기준을 확인하지 못함

□ 생산부서

(안전 책임)

- 생산작업 중 작업자의 안전 및 건강 확보

(결정 오류)

- 작업자에게 안전교육을 실시하지 않음(정기교육, 파견자 교육, 배치 전 교육, 특별안전교육 등)
- 파견 근로자를 적정하게 관리하지 않음(근무일지 미작성 등)
- 메탄올 등 위험물질 취급작업과 관련된 물질안전보건자료(MSDS) 게시·비치 및 경고표시 부착 미흡

(결정 배경)

- 파견 근로자가 매일 수시로 변경됨
- 관행적으로 작업자 관리

(결함)

- 산업안전보건법의 존재를 인식하지 못함
- 안전보건교육의 필요성을 인식하지 못함
- 메탄올의 위험성을 파악하지 못함
- 메탄올의 작업장 내 노출기준을 확인하지 못함

〈표 5〉 생산공정 및 기계설비 관련 안전항목, 공정 및 설비 결함

(안전 요구사항)

- 작업자의 안전 및 건강 확보
- 위험물질 배출 최소화

(공정 및 설비 결함)

- 절삭가공기(CNC 66대)의 가공부가 완전 개방되어 있어 재료 가공 중 사업장 내 메탄올 확산
- 국소배기장치가 설치되어 있지 않아 사업장 내 위험물질(메탄올, 알루미늄 분진 등) 확산
- 메탄올을 에어건을 사용하여 제거함에 따라 작업자 노출 및 사업장 내 확산
- 메탄올을 깔때기를 사용하여 소분함에 따라 작업자 노출 및 작업장 내 확산
- 작업장 내 메탄올 농도가 노출기준을 초과함

〈표 6〉 근로자 파견업체(B 솔루션)의 안전책임, 결정오류 및 결함

□ 근로자 파견업체 (B 솔루션)

(안전 책임)

- 파견 근로자가 안전하게 근무할 수 있도록 관리

(결정 오류)

- 근로자 파견이 금지된 제조업의 직접 생산공정에 근로자 파견

(결정 배경)

- 제조업 생산공정으로 근로자 파견은 과거의 관행이었음
- 근로자 파견으로 인해 안전보건 등 사회적 이슈가 없었음
- 행정/규제기관의 적극적인 감시가 부족

(결함)

- 파견할 공장의 작업 조건, 위험 등에 대해 미확인
- 건강 이상 확인 및 이상자에 대한 적극적인 보건 조치 미흡
- 소속된 파견 근로자에 대한 적절한 관리 미실시

□ 생산 작업자 (B 솔루션에서 파견한 직원)

(안전 책임)

- 안전수칙 준수 및 보호구 착용
- 작업표준 준수

(결정 오류)

- 건강에 이상을 느꼈으나 적절한 조치 없이 작업 수행

(결정 배경)

- 적절한 보호구를 지급받지 못함
 - 취급하는 물질의 위험성에 대한 교육을 받지 못함
- (결함)
- 산업안전보건법의 존재를 인식하지 못함
 - 메탄올의 위험성을 파악하지 못함
 - 메탄올의 작업장 내 노출기준을 확인하지 못함
 - 위험물질 취급 시 보호구 미착용 또는 부적정한 보호구 착용

<표 7> 모기업, 1·2차 협력업체의 안전책임, 결정오류 및 결함

C 전자 (휴대폰 생산 대기업)

(안전 책임)

- 협력사의 근로자가 안전하게 작업하도록 적정하게 계도, 권고

(결정 오류)

- 보통 1차 협력사에 대해 안전 계도 및 평가를 실시하고, 2, 3차 협력사는 1차 협력사를 통해서 안전 계도, 권고 실시

(결정 배경)

- 3차 협력사와 2차 협력사의 계약 관계가 수시로 변함

(결함)

- 1차 협력사나 2차 협력사가 3차 협력사에 대해 안전보건 계도 활동 수행하였는지는 확인하지 않음

1, 2차 협력사

(안전 책임)

- 협력업체의 안전 확보를 위해 적정하게 계도, 권고

(결정 오류)

- 해당없음

(결정 배경)

- 해당없음

(결함)

- 2차 또는 3차 협력업체의 안전보건 관리 실태 미확인 상태에서 도급 계약 체결

〈표 8〉 기계·설비 설계·시공 및 납품업체의 안전책임, 결정오류 및 결함

□ 기계, 설비 설계 및 시공 업체

(안전 책임)

- 신뢰성이 높은 설비를 제작하여 납품하여야 함

(결정 오류)

- 해당없음

(결정 배경)

- 발주자(A ENG)의 요구사항과 금액 수준을 고려하여 기계설비 설계 및 제작·설치

(결함)

- 사업장에 필요한 적정 수준의 환기 수준을 고려하지 않음

□ 기계기구 납품 업체

(안전 책임)

- 신뢰성이 높은 설비를 제작하여 납품하여야 함

(결정 오류)

- (추정)원가절감을 위하여 가공부가 개방된 CNC 제작

(결정 배경)

- 발주자(A ENG)의 요구사항과 금액 수준을 고려하여 기계기구 제작 후 납품

(결함)

- (추정)CNC 가공부 개방 시 화학물질 비산, 소음 발생 등의 문제 가능성에 대해서 언급하지 않음

□ 재료 및 부자재(화학물질 등) 납품업체

(안전 책임)

- 안전한 용기에 화학물질 포장하여 사용자에게 납품

- 물질안전보건자료(MSDS)를 사용자에게 제공

(결정 오류)

- 해당없음

(결정 배경)

- MSDS를 요구하는 사업장에 대해서만 제공

(결함)

- (추정)화학물질 납품업체에서 MSDS를 제공하지 않음

<표 9> 지자체, 안전보건관리전문기관, 안전보건공단의 안전책임, 결정오류 및 결함

| |
|--|
| <p>□ 지자체(00시) (안전 책임)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 권역 내 설립되는 공장의 안전한 준공 및 운영을 위한 지원 <p>(결정 오류)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 해당없음 <p>(결정 배경)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 산업집적활성화 관련 법률에 따라 유해위험방지계획서, 공정안전보고서 제출 대상 사업장에 대해서 안전보건공단과 협의 - 소규모 기업은 수시로 설립 및 폐쇄되어 공장 등록 빈도가 잦아서 모든 기업을 전수 확인하는 것은 현실적으로 불가능함 <p>(결함)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 설립되는 모든 공장에 대해서 안전을 확인하지 않음 - 등록 업종의 적정성 여부를 확인하지 않음 <p>○ 안전보건관리 전문기관(민간) (안전 책임)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소규모 사업장 안전보건 기술지원을 통해서 위험을 감소시킴 <p>(결정 오류)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자료제공 위주로 기술지원(A ENG) <p>(결정 배경)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 점검자는 하루 동안 다수의 사업장을 방문하여야 함 - 소형 휴대폰 부품을 생산하는 자동화된 CNC 가공공정에서는 물리적 위험에 의한 중대재해 가능성이 높지 않음 - 과거 메탄올에 의한 건강장해가 이슈가 되지 않았음 <p>(결함)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술지도 시 사업장 취급 화학물질 정보 확인 미흡 - (추정)기술지도 담당자가 메탄올의 위험성을 확인하지 못함 <p>○ 안전보건공단 (안전 책임)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 근로자가 안전하고 건강하게 일할 수 있도록 함 - 사업주가 사고예방에 힘쓰게 함 <p>(결정 오류)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 설립 또는 운영 중인 모든 사업장에 대해 안전을 확인하지 않음 - 안전보건관리 전문기관에 위탁한 기술지원 사업장 모두에 대해 기술지원 결과의 적정성 여부를 확인하지 않고 일부 사업장만 확인 |
|--|

(결정 배경)

- 산업집적활성화 관련 법률에 따라 유해위험방지계획서, 공정안전보고서 제출 대상 사업장에 대해서 지자체와 협의
- 소규모 기업은 수시로 설립 및 폐업되고, 사업장 수가 많아 모든 사업장의 안전을 확인하는 것은 현실적으로 불가능함
- 안전보건전문기관에 기술지원을 위탁한 사업장수가 많아 모든 사업장에 대한 기술지원 결과를 확인할 수 없음

(결함)

- 안전 및 보건관리 전문기관의 기술지원 결과 확인 또는 평가 미흡

4) 업무 흐름에 따른 문제점

휴대폰 부품 생산을 위해 공장 임대부터 실제 생산 작업까지 업무가 진행되는 과정에서의 문제점을 분석하여 <표 10>에 나타냈다. <표 2>와 함께 비교해 보면 어느 기관 또는 조직의 문제점인지 확인할 수 있다. 이러한 문제점을 기반으로 휴대폰 생산 공정의 각 단계에서 안전보건을 확보하기 위해 확인이 필요한 목록을 작성할 수 있다.

5) 사고예방을 위한 체크리스트 제안

<표 11>에는 <표 10>에서 작성된 문제점을 기반으로 메탄올을 취급하는 휴대폰 부품 생산 공정의 각 단계별로 안전보건 측면에서 확인해야 할 확인 내용, 확인자, 점검 시기 등을 도출하여 제시하였다. 확인 목록(체크리스트)의 확인자는 여러 기관(담당자)이 될 수 있다.

〈표 10〉 휴대폰 생산 공정의 업무 흐름에 따른 문제점

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점(재해조사의견서 등의 내용 기준) |
|----|-----------------------|--|
| 1 | 공장 임대계약 | <ul style="list-style-type: none"> • 부품 가공공장으로 부적합한 건물 임대 <ul style="list-style-type: none"> - 화학물질 취급 공정에 부적정한 건물 임대 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 국소배기장치 장치 등 시설물 설치에 불리한 건물 임대(하중, 벽체 관통, 원거리 덕트 필요 등) ◦ 화학물질 누출 시 확산 방지 불리(하부 층으로 확산 가능) |
| 2 | 공장등록 신청 및 승인 | <ul style="list-style-type: none"> • 공장 등록 시 확인 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 인쇄업으로 사업장을 등록하여 실제 업종과 다름 |
| 3 | 기계설비 설계 및 시공 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산공정의 필수 안전설비 미반영 <ul style="list-style-type: none"> - 생산 공정에 필수적인 안전설비를 반영하지 않음 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 설비 도입 계획 시 절삭가공기(CNC)에서 비산된 메탄올 제거를 위한 국소배기장치 및 후드 미반영 |
| 4 | 유해위험방지 계획서 심사 신청 및 승인 | <ul style="list-style-type: none"> • 유해위험방지계획서 심사 미신청 <ul style="list-style-type: none"> - 국소배기장치 설치 시 유해위험방지계획서 심사를 신청하지 않음 <ul style="list-style-type: none"> * 사고 발생 당시에는 유해위험방지대상 설비가 없었으나 사고 후 국소 배기장치 설치 과정에서 확인됨 |
| 5 | 기계설비 제작 및 설치 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전 설비 미설치 <ul style="list-style-type: none"> - 위험물질 제거를 위한 국소배기장치 미설치 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 절삭가공기(CNC)에서 비산된 메탄올 제거를 위한 국소배기장치 및 후드 미설치 |
| 6 | 기계기구 납품 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 불안정한 기계기구 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 절삭가공기(CNC 66대) 가공부 완전 개방 설치 |
| 7 | 기계기구 납품 | |
| 8 | 생산 발주(제원) | <ul style="list-style-type: none"> • 협력업체의 안전보건 실태 미확인 <ul style="list-style-type: none"> - 2, 3차 협력업체의 안전보건관리 실태 미확인 상태에서 도급 계약 체결 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 1차 협력업체에 대해서만 안전보건 실태 점검, 확인 등 관리 실시 ◦ 2차, 3차 협력업체의 안전보건 계도 여부 미확인 (2, 3차 협력업체는 1차 협력업체를 통해서 안전보건 계도) |
| 9 | 공정설계 지시 | - |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점(재해조사의견서 등의 내용 기준) |
|----|-------------------------|---|
| 10 | 공정설계 결과(제작시방서) 송부 | <ul style="list-style-type: none"> • 위험물질 사용 공정 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 메탄올 등 위험물질을 절삭유로 사용하도록 가공 공정 설계 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 생산비용을 고려하여 메탄올과 같은 저가의 위험물질을 절삭유로 선정 - 부적정한 작업방법 적용 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 메탄올이 작업자와 사업장에 비산될 수 있는 탈착 및 세척방법 적용 |
| 11 | 재료 및 부자재 납품요청 | - |
| 12 | 재료 및 부자재 납품 | <ul style="list-style-type: none"> • MSDS 미제공 <ul style="list-style-type: none"> - 재료(알루미늄) 및 주자재(메탄올) MSDS 미제공 |
| 13 | 생산인력 파견 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 파견 금지 업무에 근로자 불법 파견 요청 <ul style="list-style-type: none"> - 파견이 법적으로 금지된 직접 생산공정 업무에 근로자 파견을 요청하였음 |
| 14 | 생산인력 파견 | <ul style="list-style-type: none"> • 파견 금지 업무에 근로자 불법 파견 <ul style="list-style-type: none"> - 파견이 법적으로 금지된 직접 생산공정 업무에 파견 근로자 사용 |
| 15 | 생산지시 | - |
| 16 | 안전교육 및 작업전 안전조치 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업 전 안전교육·안전조치·위험성평가 미실시 <ul style="list-style-type: none"> - 파견근로자(작업자)에게 안전교육 미실시 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 정기 안전교육, 취급 물질의 위험성(MSDS) 교육, 배치 전 교육 등 미실시 - 안전조치 미실시 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 보호구 미지급(송기마스크 등 호흡보호구, 내화학성 보호장갑 및 보호복, 보호장화, 보안경 등) ◦ 물질안전보건자료(MSDS) 게시·비치 및 경고표시 부착 미흡 ◦ 방독마스크 착용, 보안경 착용 등 안전보건표지 부착 미흡 • 위험성평가 미실시 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 사업장 유해·위험요인에 대한 위험성평가 및 개선조치 미실시 |
| 17 | 생산작업지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 파견 근로자 노무 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 파견 근로자의 근무일지 미작성 등 관리 미흡 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 파견 근로자가 매일 수시로 변경되어 작성하지 않음 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 문제점(재해조사의견서 등의 내용 기준) |
|----|----------------------|---|
| 18 | 생산작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산작업 중 작업자의 안전보건 확보 미흡 - 작업자가 부적정한 안전보호구 착용 및 필수 안전보호구 미착용 |
| | 생산공정 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전설비 미설치, 불안정한 방법으로 작업 - 분진(알루미늄), 절삭유(메탄올) 등의 위험물질을 제거하기 위한 국소 배기장치 미설치 - 위험물질이 비산되는 부적정한 방법으로 작업 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 에어건으로 생산품 표면의 메탄올과 이물질을 제거하여 메탄올이 작업장 내로 확산 ◦ 작업장 내에서 깔때기를 사용하여 절삭유(메탄올) 소분작업 실시(CNC 66대용, 매일 1회 이상) |
| 19 | 특수건강검진및 작업환경측정 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 특수건강검진 및 작업환경측정 미요청 - 특수건강검진 및 작업환경측정을 요청하지 않음 |
| 20 | 특수건강검진 실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 특수건강검진 미실시 - 특수건강검진 미실시 |
| 21 | 작업환경측정 실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업환경측정 미실시 - 작업환경측정 미실시 |
| 22 | 소규모 사업장 안전보건 기술지도 | <ul style="list-style-type: none"> • 기술지도 중 사업장 유해위험요인 미발견 - 4차례의 기술지도('15년 3월~10월 중) 시 메탄올의 위험성을 확인하지 못함 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 4차례 기술지도 중 자료 제공(총 25종) 형태로만 기술지도 실시 ◦ 기술지도보고서의 화학물질 취급현황을 공란으로 작성 |

〈표 11〉 휴대폰 부품 생산공정의 안전확보를 위한 업무 흐름별 체크리스트

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|-----------------|---|--------|------------|
| 1 | 공장 임대계약 | <ul style="list-style-type: none"> • 공장 예정 건물의 적정성 여부 - 취급하는 유해위험 화학물질 처리설비의 설치 적합성 - 작업 중 발생 가능한 비상상황의 종류와 대응성 검토 | - | 공장 임대 계약 시 |
| 2 | 공장등록 신청 및 승인 | <ul style="list-style-type: none"> • 등록 업종의 적정성 여부 | 등록 승인자 | 공장 설립 시 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|-----------------------|--|----------------------------|----------------|
| 3 | 기계설비 설계 및 시공 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산 공정에 필수적인 안전설비의 반영 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 국소배기장치, 방폭 설비 등 • 설치 대상 설비의 법적 검사, 인증, 심사대상 여부 | 손해당부서 제작시공업체 | - |
| 4 | 유해위험방지 계획서 심사 신청 및 승인 | <ul style="list-style-type: none"> • 법적 검사, 인증, 심사 등의 신청 및 승인 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 안전인증, 화학시설검사, 유해 위험방지 계획서 심사, 공정안전보고서 심사 등 | 제작시공업체 해당부서 | 기계, 설비 최초 도입 시 |
| 5 | 기계설비 제작 및 설치 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산 공정에 필수적인 안전보건 설비의 반영 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 국소배기장치, 방폭 설비 등 • 설치 대상 설비의 법적 검사, 인증, 심사 대상 여부 | 제작시공업체 손해당부서 | 기계, 설비 최초 도입 시 |
| 6 | 기계기구 납품 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 구매 대상 기계기구의 안전성 여부 <ul style="list-style-type: none"> - CNC의 도어 인터록, 방호문 등 | 손해당부서 납품업체 | 기계, 설비 최초 도입 시 |
| 7 | 기계기구 납품 | <ul style="list-style-type: none"> • 납품된 기계기구의 안전성 여부 <ul style="list-style-type: none"> - CNC의 도어 인터록, 방호문 등 | 납품업체 손해당부서 | 기계, 설비 최초 도입 시 |
| 8 | 생산 발주(제원) | <ul style="list-style-type: none"> • 생산의 재하도급 여부 • 재하도급 업체에 대한 안전관리 수준 적정성 평가 여부 | 모기업, 1차 협력업체, 2차협력업체 | 부품 생산 계약 시 |
| 9 | 공정설계 지시 | - | - | - |
| 10 | 공정설계 결과 (제작 시방서) 송부 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산 공정 중 유해위험물질 사용 여부 • 유해위험물질 사용 시 작업자의 안전확보 여부 • 유해위험물질 사용 시 비산 및 확산방지조치 여부 • 유해위험물질을 안전한 물질로 대체 가능 여부 | 공정설계부서 | 생산공정 설계 시 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|--------------------|--|----------------|----------------|
| 11 | 재료 및 부자재 납품 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 납품 대상 자재 및 물질의 MSDS 제출 요청 여부 • 납품 대상 자재 및 물질의 유해위험성 확인 여부 | 공정설계부서 생산부서 | 구매 요청 전 |
| 12 | 재료 및 부자재 납품 | <ul style="list-style-type: none"> • 납품 대상 자재 및 물질의 MSDS 제출 여부 • 납품 대상 자재 및 물질의 유해위험성 여부 | 공정설계부서 생산부서 | 납품 후 |
| 13 | 생산인력 파견 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 파견근로자 사용의 적법성 여부 | 인사부서 3차협력업체 | 근로자 파견 요청 전 |
| 14 | 생산인력 파견 | <ul style="list-style-type: none"> • 근로자 파견의 적법성 여부 • 파견 근로자의 담당 업무 적정성 여부 | 파견업체 인사부서 | 근로자 파견 전 |
| 15 | 생산지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산 공정의 유해위험성 여부 • 생산 작업자 안전관리의 적정성 여부 - 안전교육 이수 여부, 작업위험성 파악 여부 | 공정설계부서 생산부서 | 생산 지시 전 |
| 16 | 안전교육 및 작업전 안전조치 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업자에 대한 안전교육 실시 여부 - 정기 안전교육, 취급 물질의 위험성(MSDS) 교육, 배치 전 교육 등 - 안전조치실시여부 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 적정 보호구 지급 여부 ◦ 물질안전보건자료(MSDS) 게시·비치 및 경고 표시 부착 여부 ◦ 적절한 안전보건표지 부착 여부 - 위험성평가 실시 여부 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 사업장 유해·위험요인 파악 및 개선 여부 | 생산부서 | 작업 전 |
| 17 | 생산작업지시 | <ul style="list-style-type: none"> • 파견근로자 담당 업무의 적법성 여부 • 파견근로자 관리의 적정성 여부 - 근무일지 작성 등 확인 | 인사부서 생산부서 | 파견 근로자 배치 전 |

| 순서 | 업무단계(내용) | 항 목 | 평가자 | 평가시기 |
|----|--------------------------|--|--------|---------|
| 18 | 생산작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업자 안전보호구 착용 여부 • 작업자 안전보건 수칙 숙지 여부 • 안전작업절차 숙지 여부 | 생산부서 | 작업 전 |
| | 생산공정 | <ul style="list-style-type: none"> • 생산공정에 대한 위험성평가 실시 여부 - 생산공정의 유해·위험요인 파악 및 개선 여부 | 생산부서 | 작업 전 |
| 19 | 특수건강검진 및 작업환경측정 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 특수건강검진 및 작업환경측정 대상 여부 | 해당부서 | 공장 등록 시 |
| 20 | 특수건강검진 실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 특수건강검진 실시 여부 | 해당부서 | 매년 |
| 21 | 작업환경측정 실시 | <ul style="list-style-type: none"> • 작업환경측정 실시 여부 | 해당부서 | 매6월 |
| 22 | 소규모 사업장 안전보건 기술지도 | <ul style="list-style-type: none"> • 안전보건 기술지도의 적정성 여부 - 사업장 취급 화학물질의 위험성 파악 여부 - 유해위험 화학물질 취급 작업자의 안전 여부 | 안전보건공단 | 기술지원 후 |

연구진

연구 기관 : 산업안전보건연구원

연구 책임자 : 김진현 (실장, 산업안전연구실)

연구 원 : 강정훈 (부장, 산업안전연구부)

연구 원 : 박주동 (연구위원, 산업안전연구부)

연구 원 : 서동현 (연구위원, 위험성연구부)

연구 원 : 박장현 (과장, 산업안전연구부)

연구 원 : 이은진 (과장, 산업안전연구부)

연구 원 : 전소영 (대리, 산업안전연구부)

연구 원 : 백빛나 (대리, 산업안전연구부)

연구기간

2022. 3. 24. ~ 2022. 6. 30.

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

산업안전보건연구원장

산업현장 쏘조직부문의 위험성평가 참여 방안 및 역할 검토
(최근 사망사고 사례분석을 중심으로)
(2022-산업안전보건연구원-320)

발행일 : 2022년 6월 30일

발행인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 실장 김진현

발행처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전화 : 052-703-0840

팩스 : 052-703-0334

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92138-73-2

