

## 중소규모 화학업종을 위한 자율점검표 개발 연구

### A Study on the Development of Self-Checklists for Small and Medium-Sized Chemical Industries

심우섭<sup>1\*</sup>, 오경석<sup>2</sup>

Woo Sub Shim<sup>1\*</sup>, Kyeong-Seok Oh<sup>2</sup>

#### 〈Abstract〉

Major industrial accidents in which workers die due to fires or explosions while working at chemical substance handling workplaces continue to occur. Among the major industrial accidents that occurred between 2005 and 2021, the accident status by work situation and equipment was analyzed. Through analysis, it was confirmed that storage, reaction, and piping facilities were the main causes of the accident, and a self-checklist for each facility was developed. Verification was conducted through the supply and use groups to evaluate the suitability of the use, duties, and items of the self-checklist. The user group showed higher satisfaction than the supplier group for all three suitability of use, job, and item. In particular, since the inspection items of the self-checklist were organized around the cause of the accident derived through the analysis of actual accident cases, the satisfaction level was high in all groups. It is expected that the self-checklist developed through this study will be useful not only for large companies but also for small and medium-sized chemical industries that lack professional manpower.

*Keywords : Fire and Explosion, Major Industrial Accident, Storage, Reaction, Pipe, Self-Checklists, Small and Medium-Sized Chemical Industries*

1\* 정회원, 주저자 및 교신저자, 고용노동부 산업안전보건본부  
화학사고예방과, 과장(과학기술서기관)

E-mail: shimws0720@korea.kr

2 공동저자, 삼성전자 글로벌 제조&인프라총괄 GCS팀, 책임연구원

1\* Division Head(Technical Secretary), Chemical Accident Prevention  
Division, Occupational Safety and Health Headquarter, Ministry  
of Employment and Labor, Republic of Korea

2 Senior Researcher, GCS Team, Global Manufacturing & Infra  
Technology, Samsung Electronics, Republic of Korea

## 1. 서론

지난 해 4월 울산지역 내 정유제조업체에서 대정비 기간 중 톨루엔 저장탱크 청소작업 중 화재가 발생하여 근로자 2명이 사망하였다. 또한, 21년 12월 여수지역 내 화학제품제조업체에서도 대정비 기간 중 저장탱크에서 원인미상의 화재가 발생하여 근로자 3명이 사망하였다. 대정비 작업은 정유, 화학공장의 운전효율을 높이고 사고를 예방하기 위해 정기적으로 실시하는 작업이다. 특히, 대정비작업을 실시할 때에는 공정 내 모든 설비를 개방하고 검사, 교체, 보수하기 때문에 근로자가 잔류하는 화학물질에 노출되거나 누출로 인한 화재·폭발등의 사고로 재해를 당할 가능성이 매우 높기 때문에 각별한 주의가 필요하다. 한국산업안전보건공단에서 2005년~2021년 발생한 화재, 폭발, 화학물질 누출 등의 중대산업사고를 분석한 결과에 의하면, 총 130건의 사고 중 97건이 안전운전절차와 안전작업허가절차 미준수 등 안전조치 불이행에 의한 사고가 74.6 %에 달하고 있다[1]. 이러한 수치는 우리나라의 화학공장이 고도로 기술집약적이고 자동제어 방식의 제조공정으로 선진화 되어 있지만 아직도 근로자의 실수로 인한 사고가 상당수에 이르고 있기 때문에 작업시작 전부터 종료시 까지 점검이 필요한 것이다.

중대산업사고란 산업안전보건법 제44조에 의거하여 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 사고로 정의하고 있다[2]. 화학업종에서의 중대산업사고는 대부분 위험물질 누출, 화재 및 폭발의 사고형태를 보인다. 사업장에서 인화성 가스 및 인화성 액체 등 위험물을 취급하는 과정에서 화재·폭발 사고는 다른 사고와는 달리 그 발생빈도는 적지만

일단 사고가 발생할 경우에는 대량 사상자가 발생할 수 있는 물론 인근 주민 및 환경에까지 악영향을 미쳐 경제적 손실과 사회적 물의를 일으키게 된다. 따라서 화재·폭발사고는 해당 사업장의 근로자뿐만 아니라 일반 대중의 관심이 높을 수밖에 없다.

과거의 화재·폭발사고는 주로 설비의 결함에 의한 사고가 많은 부분을 차지하여 왔으나, 최근에 이르러 운전시 안전운전절차 미준수 및 정비·보수작업시 용접작업 등에 따른 안전작업허가절차 미준수 등 작업자의 실수에 의한 사고가 대부분이다. 또한 화학물질의 위험성 정보부족이나 취급·사용·저장상의 잘못으로 인한 사고도 자주 발생하는 경향을 나타나고 있다. 이는 산업의 다양화와 신제품 개발의 영향으로 위험한 화학물질의 사용하거나 위험성이 확인되지 않은 화학물질을 사용함에 크게 기인하고 있다.

대기업에서는 산업안전보건법, 화학물질관리법 등 화학사고 관련 법령을 준수하고 화학물질 관련 중대산업사고 예방을 위해 인력과 예산이 보강되고 있지만, 여전히 중소기업 화학업종에서는 안전보건을 담당할 인력도 부족하고 시설 개선을 위한 예산 확보도 어려운 실정이다.

이에 따라 사고예방을 위한 인력이 부족한 중소기업 사업장에서는 안전관리 업무를 수행하기 위해 효율적으로 이용하는 것이 점검표일 것이다. 위험성평가 기법 중 점검표(checklist) 기법은 공정 및 설비의 오류, 결함상태, 위험상 등을 목록화한 형태로 작성하여 경험적으로 비교함으로써 위험성을 파악하는 방법이다[3]. 점검표란 업무 상황에서 해야 할 일을 얼마나 수행했는지 또는 작업 전에 점검을 위해 확인해야 할 사항들을 정리한 표이다. 점검표는 업무를 더욱 편리하게 수행할 수 있다는 점, 최소의 비용으로 처리가 가능하다는 점, 축적된 정보를 기반으로 빠른 시간 내에 유해·위험요인을 발굴할 수 있다는 점, 반복되는

작업의 경우 편리하게 사용할 수 있다는 점 그리고 중요한 부분을 빠뜨리지 않고 누구나 확인할 수 있다는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 화재·폭발·누출 등의 중대 산업사고를 예방하기 위해서 유해·위험요인을 발굴·제거할 수 있고 안전검검을 효과적으로 수행할 수 있는 자율점검표를 개발하는데 목적을 두었다.

## 2. 연구 방법

한국산업안전보건공단에서 2005년~2021년 발생된 화재, 폭발, 화학물질 누출 등의 중대산업사고 사례를 통해 작업상황별 및 설비별 발생현황을 분석하여 가장 취약한 분야를 도출한 후 이를 예방하기 위한 점검표를 개발하였다. 이 후 법 집행자이면서 준수사항 관리를 하는 공급 전문가 집단과 점검표를 현장에서 활용하는 사용 전문가 집단을 대상으로 집단심층면접(Focus Group Interview, 이하 FGI)을 통해 점검표에 대한 종합적인 검증을 실시하였다.

## 3. 통계적 고찰

2005년~2021년에 발생한 중대산업사고를 작업 상황별 및 설비별 중대산업사고 발생현황을 분석하였다(Table 1).

중대산업사고는 저장설비(33건, 25.3%), 반응설비(31건, 23.8%), 배관설비(26건, 20%) 순으로 많이 발생하였고 위 3가지 설비가 전체 사고에서 69.1%를 차지하고 있다. 특히, 정상운전 중에 발생한 58건 중에서는 반응설비(23건, 39.6%), 저장설비(11건, 18.9%) 순으로 발생하였고, 정비보수 중에는 저장설비(14건, 31.1%), 배관설비(11건, 24.4%) 순으로 발생한 것을 알수 있었다.

Table 1. Current status of major industrial accidents by work situation and equipment

(단위: 건)

구분	합계	시운전	정상운전	정비보수	입출하
합계	130	19	58	45	8
저장설비	33	4	11	14	4
반응설비	31	3	23	5	-
배관설비	26	4	8	11	3
분리장치	11	1	3	7	-
기타	11	2	4	4	1
열교환기	6	2	2	2	-
압축설비	5	-	4	1	-
가열로	4	1	2	1	-
분체장치	3	2	1	-	-

## 4. 연구 결과

통계분석을 통해 저장, 반응, 배관 설비가 사고의 주요 기인물로 밝혀짐에 따라서 위 3가지 설비에 대한 점검표를 개발하였고, 2023년 2월~5월까지 개발된 점검표를 전문가 집단에 배포하여 사용, 직무, 항목의 적합성을 검증하였다. 사용적합성은 이미 수행했거나 경험이 있는 위험관리 보다 세분화된 한 부분으로 여러 위험요소 중에서 특별히 사용자에게 의해 발생할 수 있는 위험을 좀 더 들여보자는 의미가 있다. 직무적합성은 해당 업무에 종사하는 근로자 및 그 동료 근로자들이 그 업무 수행이 적합한지 평가하는 의미가 있다. 항목적합성은 점검을 해야 할 항목의 구체성과 연관성이 높은지 확인하는 것이다.

### 4.1 자율점검표 개발

본 연구에서 개발된 자율점검표(Fig. 1~3)는 사고 분석을 통해 저장설비[4-8], 반응설비[9-11], 배관설비[12-14]에서 사고를 유발할 수 있는 유해·위험요인을 발굴하기 위한 항목들을 중심으로 마련되었다.

자가진단 항목
1. 물질안전보건자료(MSDS)를 비치하였고, 경고표지도 부착하였다.
2. 탱크를 쉽게 구분하도록 설비번호를 게시 또는 표시하였다.
3. 탱크 외면의 현저한 부식, 균열 및 파손이 발견되지 않는다.
4. 보온재의 파손 또는 탈락이 없고 페인트 도색도 양호하다
5. 과압 및 부압을 해소하기 위해 통기관 또는 통기밸브를 설치하였으며 입구측 배관은 밸브로 차단되어 있지 않다.
6. 인화성액체를 저장하는 탱크의 통기관 또는 통기관에 화염방지기(또는 인화방지망)을 설치하였다
7. 대기환경처리설비를 통해 탱크에서 발생하는 휘발성유기화합물(V.O.C.) 등을 처리하도록 조치하였다.
8. 탱크 지붕에서 작업할 때 유증기 배출 부위(통기관 등) 주변으로 용접불티, 그라인더 불꽃 등과 같은 점화원이 유입되지 않도록 사전에 필요한 조치를 한다.
9. 온도계, 액위계, 압력계 등 계측장치가 탱크에 설치되어 있고 정상기능을 유지하고 있다.
10. 입하작업 중 탱크의 흘러넘침(overflow)을 방지하기 위해 고액위경보장치, 액위조절장치(Level switch)와 같은 자동경보장치 또는 자동제어장치를 설치하였고 정상기능을 유지하고 있다.
11. 위험물질 저장탱크의 안전거리 또는 보유평지를 확보하였다.
12. 비상 시 소방차 등 긴급차량이 들어올 수 있도록 진입경로에 장애물이 있거나 적재품이 방치되어 있지 않다.
13. 탱크 저장용량 이상으로 방유계가 충분히 크게 설치되어 있다.
14. 방유계 배관 관통부에 실링처리로 막음조치가 되어 있고 내·외면의 구멍이나 현저한 균열 및 파손은 발견되지 않았다.
15. 탱크 측면 계단의 안전난간대, 수직사다리 방호울, 지붕에 안전난간대 및 발끝막이판이 설치되어 있다.
16. 정전기 방지를 위해 접지 또는 본딩을 실시하였고, 접속부위에 녹, 페인트 등 이물질이 없도록 관리하고 있다.

Fig. 1 Self-checklist for storage facilities

자가진단 항목
1. 용접부위 부식, 핀홀 및 크랙이 없고 외관 상태는 양호하다.
2. 배관 플랜지, 맨홀 및 밸브 말단 부위에서 누출이 없고 누설된 흔적도 없이 깨끗하다.
3. 설계온도 및 압력이 표시된 명판(namee plate)이 부착되어 있다.
4. 교반기 모터 고정 및 전선 연결상태는 양호하며, 회전방향 및 속도도 정확하다.
5. 작업장 내 폭발위험장소를 구분하여 관리하고 있으며, 위험장소에는 방폭전기기계·기구를 설치하였다.
6. 온도계, 압력계, 유량계 등 계측장치가 설치되어 있고, 파손 또는 고장없이 정상기능을 유지하고 있다.
7. 이상상태를 신속히 알기 위해 자동경보장치가 설치되어 있다.
8. 조업 중 반응기 내부 폭발범위 형성 방지를 위해 질소 등 불활성가스 공급설비가 설치되어 있다.
9. 비상 시 원료의 긴급 차단, 제품 등 내용물 방출, 냉각수 투입장치가 구비되어 있다.
10. 반응기 동체에 안전밸브 또는 파열판이 설치되어 있고, 그 작동압력은 반응기 설계압력 이하로 설정되어 있다.
11. 안전밸브 입구배관에 파열판이 직렬로 설치된 경우 안전밸브와 파열판 사이에 압력계가 설치되어 있다.
12. 안전밸브 또는 파열판 입구배관에 차단밸브는 없다.
13. 안전밸브 또는 파열판 출구배관을 포집 또는 처리설비로 연결하여 배출물을 안전하게 처리하도록 조치하였다.
14. 작업근로자 제전복·제전화·제전장갑 착용, 반응기 주변 도전성(금속제) 바닥, 접지 및 본딩 등 정전기 방지 조치를 실시하고 있다.
15. 원료, 반응개시제, 촉매 등의 투입량·순서, 반응시간, 교반속도 등이 명시된 작업표준을 작성하여 숙지하고 있다.
16. 비상정지 등 운전 중 비상 시 조치요령을 숙지하고 있다.

Fig. 2 Self-checklist for reaction facilities

자가진단 항목
1. 배관 구성품(파이프, 플랜지, 밸브 등)은 국내·외 산업표준에 적합한 규격품으로 설치하였다.
2. 배관 용접부, 노즐 및 밸브 등에 누출이 없고 누설 흔적도 없다.
3. 육안검사 시 배관에 균열 또는 이상이 발견되지 않았다.
4. 배관 외면의 보온재가 파손되거나 탈락된 것이 없고 보온설비(steam/electric tracing)가 적절하게 유지관리되고 있다.
5. 배관에서 누설된 응축수, 열매유 등이 보온재에 스며들어 체류하고 있는 경우는 발견되지 않았다.
6. 배관 연결부 플랜지에 체결된 볼트 및 너트는 풀림이나 나사의 파손이 없고 여유 나사신을 고려하여 견고하게 체결되었다.
7. 배관 지지대에는 외력에 의한 손상 및 변형이 없다.
8. 폭발위험장소 내에 배관이 위치한 경우, 지지대가 내화구조로 설치되어 있으며 시공상태도 양호한 편이다.
9. 배관 연결부의 개스킷(gasket)은 취급유체의 온도·압력에 적합하고 내부식성이 있는 재질로 적용되었다.
10. 고온·고압 배관을 지지하고 있는 스프링 행거 및 서포트(spring hanger&support)의 설정치(cold/hot)는 적절하게 유지되고 있다.
11. 배관이 적절한 구배(slope)로 시공되어 있어, 배관 내부에 air pocket이나 dead leg(액이 고여서 체류할 수 있는 구간) 생성은 발견되지 않았다.
12. 가동 중 배관계의 비정상적 진동 및 소음이 감지되지 않는다.
13. 벨로우즈, 호스 및 플렉시블 배관이 아예 없거나 꼭 필요한 곳에만 설치되어 있다.
14. 배관에 설치된 밸브 핸들 또는 손잡이는 개폐 시 모두 같은 방향으로 조작하도록 설치되어 있다.
15. 혼합 위험이 있는 물질을 직접 접촉하지 않도록 배관을 별도 계통으로 설치하거나 별도 설치가 어려운 경우 차단밸브나 체크밸브를 설치하여 역류 및 혼합을 방지하였다.
16. 공기제거 밸브(air vent valve)가 설치되어 있고 드레인밸브 말단에 캡 또는 맹판으로 막을 처리하였다.
17. 필요시 배관의 유체 차단을 위한 LOTO(Lock Out, Tag Out)절차를 운영한다.

Fig. 3 Self-checklist for plumbing equipment

### 4.2 공급자 집단을 통한 검증

산업안전보건법, 화학물질관리법 등에 의거하여 관리감독을 하는 집단(13명)을 통해 자율점검표의 사용, 직무, 항목의 적합성에 대하여 인터뷰를 실시하였다. 자율점검표의 사용적합성의 만족에 대한 결과는 평균 61.5%, 직무적합성의 만족에 대한 결과는 76.9%, 항목적합성의 만족에 대한 결과는 74.3%, 로 확인할 수 있었다(Table 2). 위 3가지 항목에 대해 평균 70.9%를 보여 개발된 자율점검표는 보통 이상의 결과물로 보인다.

다만, 구성과 형식이 적정인가, 기대감이 있는 점검표인가의 질문에 대한 답변이 보통이 높다는 것에 따라 보완이 필요해 보인다.

### 4.3 사용자 집단을 통한 검증

화학물질을 취급하는 사업장에서 근무경력이 최소 5년 이상의 근로자 집단(18명)을 통해 자율점검표의 사용, 직무, 항목의 적합성에 대하여 인터뷰를 실시하였다. 자율점검표의 사용적합성의 만족에 대한 결과는 평균 75.9%, 직무적합성의 만족에 대한 결과는 83.3%, 항목적합성의 만족에 대한 결과는 89.7%, 로 확인할 수 있었다(Table 3). 위 3가지 항목에 대해 평균 82.9%를 보여 개발된 자율점검표는 사용자 측면에서 만족도가 높아 보였다. 다만, 점검항목에 전문용어 보다는 일반적으로 통용되는 단어를 사용해야 하며, 점검 업무에 도움이 될 수 있도록 해설서를 추가해야 한다는 의견도 있었다.

Table 2. Results of Supplier Groups on Self-Checklists

(Unit: persons, %)

구분	질문	만족	보통	불만족
사용	구성과 형식이 적절한가	8 (61.5)	5 (38.5)	0 (0.0)
	이해하기 쉬운가	9 (69.2)	3 (23.0)	1 (7.8)
	기대감있는 점검표인가	7 (53.8)	4 (30.7)	2 (15.5)
직무	작업현장과 일치하는가	11 (84.6)	2 (15.4)	0 (0.0)
	점검업무에 적절한 표인가	9 (69.2)	1 (7.8)	3 (23.0)
	사고예방에 도움이 되는가	10 (76.9)	3 (23.1)	0 (0.0)
항목	점검항목이 구체적인가	11 (84.6)	1 (7.7)	1 (7.7)
	점검항목수가 적절한가	10 (76.9)	2 (15.3)	1 (7.8)
	점검항목이 적절한가	9 (69.2)	3 (23.0)	1 (7.8)

Table 3. Results of user groups on self-checklists

(Unit: persons, %)

구분	질문	만족	보통	불만족
사용	구성과 형식이 적절한가	14 (77.7)	3 (16.6)	1 (5.7)
	이해하기 쉬운가	12 (66.6)	4 (22.2)	2 (11.2)
	기대감있는 점검표인가	15 (83.3)	2 (11.1)	1 (5.6)
직무	작업현장과 일치하는가	16 (88.8)	0 (0.0)	2 (11.2)
	점검업무에 적절한 표인가	15 (83.3)	1 (5.5)	2 (1.2)
	사고예방에 도움이 되는가	14 (77.8)	2 (11.1)	2 (11.1)
항목	점검항목이 구체적인가	17 (94.4)	1 (5.6)	0 (0.0)
	점검항목수가 적절한가	16 (88.8)	1 (5.6)	1 (5.6)
	점검항목이 적절한가	15 (83.3)	3 (16.7)	0 (0.0)

### 5. 결론 및 시사점

중대산업사고가 가장 많이 발생하는 설비에 대한 자율점검표를 개발하였다.

사용, 직무, 항목의 3가지 적합성 모두 사용자 집단이 공급자 집단보다 높은 만족도를 보였다. 특히, 자율점검표의 점검항목은 실제 사고사례 분석을 통해 도출된 사고원인을 중심으로 구성하였기 때문에 집단 모두에서 만족도가 높은 것으로 나타났다.

해당 점검표를 통하여 정기적으로 사업장의 안

전보건관리상태를 확인·점검하여 중대산업사고 예방에 효과를 거두고, 안전보건관리체계를 계속 발전 시켜 나갈 수 있을 것이라 판단된다. 다만, 각 사업장 환경에 맞게 수정·보완하여 점검표를 활용한다면 사고예방에 좀 더 효과적인 것으로 판단된다. 점검표를 통해 ‘더 안전하고 건강한 일터’를 만들기 위해서 어디서부터 어떤 조치가 필요한지 파악할 수 있을 것이다. 또한, 개발 된 자율점검표는 전문인력이 부족한 중소기업 중에서도 유용하게 사용할 수 있을 것이라 기대한다.

## 참고문헌

- [1] Korea Occupational Safety and Health Agency, Casebook of Severe Industrial Accidents in 2021, 2022.
- [2] Ministry of Employment and Labor, Industrial Safety and Health Act Article 44(Preparation and submission of process safety management report), 2023.
- [3] Ministry of Employment and Labor, Guidelines for Workplace Risk Assessment(Ministry of Employment and Labor Notification No. 2013-19), 2023
- [4] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(D-35-2017), Technical Guidelines for the Design of Atmospheric Storage Tanks, 2017.
- [5] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(P-165-2019), Technical Guidelines for Safe Operation of Inflammable Material Atmospheric Storage Tanks, 2019.
- [6] Korea Occupational Safety and Health Agency, Chemical Accident Case Study Storage Tank Explosion Accident During Maintenance Work, [Accessed on 22 June 2023] Available from: URL: <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/mediaBankMain.do>
- [7] Korea Occupational Safety and Health Agency, Fire and explosion prevention compass for small and medium-sized businesses, [Accessed on 24 June 2023] Available from: URL: <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/mediaBankMain.do>
- [8] An AIChE Industry Technology Alliance, Safety Alert ‘A Checklist for Inherently Safer Chemical Reaction Process Design and Operation’, [Accessed on 21 July 2023] Available from: URL: <http://www.aiche.org/ccps/safetyalert>
- [9] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(P-20-2012), Technical Guidelines for Preventing Human Error Accidents in Batch Process, 2012.
- [10] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(P-89-2012), Guidelines for safe operation of batch process, 2012.
- [11] Korea Occupational Safety and Health Agency, Fire and explosion prevention compass for small and medium-sized businesses, [Accessed on 21 July 2023] Available from: URL: <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/mediaBankMain.do>
- [12] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(M-118-2016) Technical guidelines for piping production and installation, 2016.
- [13] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(M-112-2012) Technical Guidelines for Installation and Maintenance of Piping Supports, 2012.
- [14] Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA GUIDE(G-4-2011) Safety Guidelines for Marking Transported Materials in Piping, 2011.

---

(접수: 2023.08.03. 수정: 2023.09.07. 게재확정: 2023.09.18.)