

위험성 평가에 기반한 화학산업의 변경관리

유진환 · 이현석 · 최정우* · 서재민** · 고재욱†

광운대학교 화학공학과
139-701 서울시 노원구 월계동 447-1

*중앙대학교 기계공학부
156-756 서울시 동작구 흑석동 221

**(주)세이프티아
137-895 서울시 서초구 양재동 290-4 백산빌딩 6층
(2007년 9월 5일 접수, 2007년 10월 9일 채택)

Management of Change in the Chemical Industries Based on Risk Assessment

Jin Hwan Yoo, Heon Seok Lee, Jeong Woo Choi*, Jae Min Seo** and Jae Wook Ko†

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, 447-1 Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Chungang University, 221 Heukseok-dong, Dongjak-gu, Seoul 156-756, Korea

**SafeTia Co., Ltd., 6F, Beak San Bldg., 290-4 Yangjae-dong, Seocho-gu, Seoul 137-895, Korea

(Received 5 September 2007; accepted 9 October 2007)

요 약

화학공장에서는 공정 이상, 장치 수명 및 경제적 환경 등에 의하여 변경이 발생하고 있다. 그리고 변경관리란 정확한 기술적 판단근거에 의한 변경 판정, 위험도 확인 및 위험성 평가 수행 등 근본적인 공정안전 기술을 바탕으로 이루어진다. 그러나 변경관리는 경험 부족, 지식 부족 및 기술인력 부족 등의 이유로 수행하기 매우 어려운 상황에 놓여있다. 본 연구에서는 화학공장 변경관리의 취약점을 파악하고 이를 적절히 보완하여 안전성을 향상할 수 있는 변경관리 체계를 구축하였다. 위험성 평가를 기반으로 하는 변경관리 절차의 정립 및 변경 여부 판단, 변경시 위험도 산정 등 변경관리 의사결정 단계들의 명확한 판단 기준 체계 정립을 통한 장치산업의 변경관리 수행 체계를 제안하였다. 이러한 안전공학 기술이 접목된 형태의 변경관리 절차를 제안하여 화학공장의 안전성 향상을 꾀하고자 하였다.

Abstract – Process change and modification, which are caused by process failure, equipment life cycle and economic environment, have been generated in the chemical plants. And the MOC (management of change) base on the reasonable process safety technology such as change judgment, hazard identification by accurate technical references and risk assessment. But it is difficult to carry out the MOC because of lack of experience, shortage of knowledge and none of process safety specialists. In this study, the MOC system which could make enhancement of safety by finding and complementing weakness of MOC in chemical facilities was developed. This developed MOC system based on QRA was recommended the obvious standard for decision-making process, MOC procedure based on risk assessment and risk estimation of the process modification. The study based on the above way sought the enhancement of safety by performing Risk Based MOC for chemical plants.

Key words: Management of Change, Process Safety Management, Risk Assessment, Process Hazard Index, Process Safety Information

1. 서 론

화학공장에서는 공정 기술, 설비 관리 및 경제적 환경 등에 의하여, 공정의 변경 및 신규 설비의 설치 등의 활동이 수 없이 수행되어진다. 이러한 공정의 변경 및 신규시설의 설비는 정확한 기술검토, 위험도 확인 및 위험성 평가 수행 등 근본적인 공정 안전을 확

보하는 기술을 바탕으로 수행되어야 한다. 그러나 경험, 지식 및 기술인력 부족 등의 이유로 수행하기 매우 어려운 상황에 놓여 있다.

해외에서도 장치산업의 변경관리에 대한 중요성을 인식하고 있으며, 변경에 관한 대표적 사고사례는 영국의 Flixborough 사고로서 공정안전관리 제도 및 변경요소관리를 시작하게 만든 사례이다. Gibby Joseph의[1] 인도 Bhopal 사고를 통해 촉매 변경에 대한 위험성 연구 등 사고사례를 통한 변경관리 위험성에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jwko@kw.ac.kr

Table 1. Comparison of MOC elements and PSM elements

MOC elements	PSM elements
· Process safety information	· Process safety information
· Process hazard analysis	· Process hazard analysis
· Operating procedures	· Management of change
· Mechanical integrity	· Operating procedures
· Hot work permit	· Mechanical integrity
· Contractors	· Hot work permit
· Training	· Contractors
· Pre-startup safety review	· Training
	· Pre-startup safety review
	· Incident investigation
	· Emergency planning and response
	· Compliance audit

국내 장치산업의 변경관리의 제도화 및 이행은 1996년 시행된 공정안전관리제도에 핵심요소의 하나로서 변경요소관리가 포함되면서 부터이다. 변경관리의 주요 관련사항은 Table 1의 비교를 통해 공정안전관리 요소와 상당부분 공통사항을 포함하고 있음을 알 수 있다.

따라서 변경관리는 공정안전관리를 수행하는 장치산업 사업장에서 필수적이고 매우 중요한 부분으로 판단하고 있으며, 공정안전관리 이행 수준 평가 수행시 공정안전관리 전체 수준을 가늠해 볼 수 있는 척도로 많은 전문가들이 지목하고 있다.

2. 이론적 배경

2-1. 변경관리 개요

변경관리에 대한 지침 중 국내·외에서 가장 신뢰성 높은 기술기 준 및 관련 법규들은 아래와 같으며, 변경 관리 절차 및 기본 수행 사항들에 대하여 guideline을 제시하고 있다.

- KOSHA Code P-26-2000 변경요소관리 지침
- AIChE CCPS Guideline
- EPA 40CFR68 management of change
- OSHA 1910.119 management of change
- ILO MOC guideline

공정변경은 개선된 효율성, 운전성, 안전성에만 국한되지 않고 내 재된 다양한 원인들로부터 비롯된다. 변경은 대규모의 시설확장, 신규설비 증설에서부터 화학제품, 기술, 장비 혹은 절차서를 포함한 작은 변화에까지 이른다.

어떤 변경은 설계, 제작, 설치 및 공정운전으로부터의 이탈현상을 나타낸다. 적절하게 관리되지 않는다면 단순한 변경일지라도 치명적인 재해결과를 초래할 수 있다. 변경의 3가지 유형들, 즉 기술, 설비 그리고 조직은 어떠한 지역에서도 관리되어야 한다. 기술변경은 설비변경, 새로운 화학물질의 사용, 파라미터(매개변수) 혹은 운전 절차 등의 변경들을 포함한다. 설비변경은 같은 종류가 아닌 대체품들로 일시적이거나 영구적으로 시설 대체를 하는 변경들을 포함한다[2, 3]. 조직의 변경은 새로운 직원의 대체부터 퇴직까지의 범위를 포함할 수 있다[4]. 이러한 변경들은 만일 그들이 불충분한 기술이나 훈련을 받은 구성원 또는 수적으로 불충분한 구성원으로 이루어진다면 공정 안전성에 영향을 줄 수 있다[2].

변경사항을 관리하는데 있어서 가장 적극적인 관점은 제안된 유

지보수가 사실상 변경으로 구분짓는 것이다. 변경사항을 관리하는데 있어서 가장 적극적인 관점은 제안된 유지보수를 사실상 변경으로 구분 짓는 것이다. 변경으로 판단되면 필수적으로 변경검토 필요성의 정도를 결정한다. 이러한 활동들은 적절한 변경관리 절차의 중요한 요인들이며, 변경관리 다른 공정안전관리 요소들과 크게 서로 결부된다. 중요한 공통사항들은 아래와 같다.

- 조직 변경
- 절차서 요구 사항
- 공정안전정보
- 프로젝트 안전성 검토
- 작업 허가
- 설비 예방보전
- 공정 위험성 검토
- 교육훈련

2-2. 변경에 대한 정의

변경사항은 명확한 가이드라인을 가져야 하며, 동종의 대체(교환)를 제외한 모든 장치 변경사항은 규정된 변경 절차를 따라야 한다. 절차상의 변경에 대한 적절한 정의는 공정 안전성 정보의 변경을 요구하는 것을 의미한다. 검토 절차를 수행해야 하는 변경사항에 대한 오해를 없도록 하는 것과 변경사항을 효율적으로 관리하기 위해 유형별 변경사항들을 목록화하여 변경관리 database 구축은 변경 trend 분석에 상당한 도움이 된다. AIChE CCPS guideline에 규정된 대표적인 변경요소별 목록들은 아래와 같다[2, 5, 6].

- 변경된 화학물질
- 새로운 원자재들이나 첨가물질(재질변경 포함)
- 운전 절차나 공정변수에 있어서의 변경
- 실험(작업)
- 새로운 장치와 전기계장설비
- 방폭지역 구분에 있어서의 변경
- 컴퓨터 소프트웨어에 대한 변경
- 경보장치, 연동장치 혹은 릴리프장치 설정치에 대한 변경
- 경보장치, 연동장치, 릴리프장치의 바이패스
- 장치설비 바이패스 및 개선
- 임대 및 시험장비를 포함하여 일시적인 연결 또는 장치
- 직무할당

2-3. 국내의 변경관리 기준

2-3-1. KOSHA Code P-26-2000 변경요소관리 지침(요약)[7]

한국산업안전공단(KOSHA)에서는 공정안전지침(KOSHA Code)에 의해 변경관리에 대한 guideline을 제시한다. 국내 변경관리 기준에 관한 KOSHA code는 해외기준이 제시하고 있는 변경시 고려해야할 필수 조건에 대한 규정보다는 변경관리 위원회 구성 등 제반 업무흐름을 고려한 상세 지침 역할을 목표로 제안되었다.

KOSHA의 변경관리 지침은 변경요소관리가 요구되는 공정, 기술 및 절차 등의 변경에 적용되며, 설비변경 중 교환은 변경요소관리에 적용되지 않는다.

변경관리 수행의 원칙을 준수하여 변경을 수행함으로써 추가되는 위험이 없도록 제안된 변경 내용을 충분히 검토할 것을 규정하고,

절차서, 공정안전정보자료 및 교육교재 등 변경에 관련된 서류를 수정하도록 한다. 더불어 변경의 결과로서 요구되는 새로운 절차와 자료 등을 검토하여 개정하도록 하고 있으며, 시설이나 개별기계의 기록들을 보완하도록 권고한다.

세부적인 포함 사항 및 권고사항은 아래와 같다.

- 정상절차 및 비정상 절차의 구분
- 변경 판정
- 변경관리 위원회 구성 및 운영 지침
- 변경 검토 제반 사항
- 공정안전자료 보완
- 변경 요구의 기술적 근거

2-4. 해외 변경관리 기준

2-4-1. OSHA의 변경관리(OSHA 1910.119)[8]

OSHA 1910.119에서는 변경관리 수행시 고려하여야 할 사항으로 7가지 사항을 권고하고 있으며 그 내용은 아래와 같다.

- 신청된 변경에 관한 기술적 근거
- 공정안전정보
- 공정위험분석
- 운전절차 수정
- 변경이 근로자 안전보건에 미치는 영향
- 변경 소요 기간
- 변경 승인 조건

상기 7가지 사항을 검토한 후 변경업무 관련자에게 변경사항에 대하여 상세한 정보를 제공해야하며, 변경설비 또는 변경공정에 관계되는 근로자에게 변경사항에 대한 교육훈련을 실시해야한다. 더불어 변경과 관련된 각종 절차서 등 문서, P&ID를 포함한 도면 등 공정 안전정보를 up-date하고 운전절차 및 변경된 업무내용 또한 개정하도록 규정하고 있다

2-4-2. EPA의 변경관리[9]

EPA 40CFR68 management of change에서는 사업주와 작업자가 원료화학물질, 공정기술, 공정절차의 변경관리를 위하여 그 절차를 문서화하고 작성된 절차를 준수하여 변경을 수행하여야 한다고 정의하고 있다. EPA에서는 권고하는 검토사항은 아래의 5가지 항목을 기준으로 한다.

- 신청된 변경에 관한 기술적 근거
- 변경이 안전과 보건에 미치는 영향
- 운전 절차의 변경
- 변경에 필요한 기간
- 신청된 변경의 승인 조건

또한, 변경 후 공정안전, 유지보수 담당 직원 및 협력업체 근로자들에게 변경사항에 대하여 인지할 수 있도록 교육 및 훈련을 권고한다.

EPA 40CFR65는 공정안전정보에 관한 내용을 다루고 있으며, 변경사항 발생시 관련 항목의 up-date를 권고하고 있으며, 40CFR69 운전절차 역시 up-date 대상으로 규정짓는다.

2-4-3. ILO의 변경관리[10]

ILO에서는 변경관리 수행시 기존 시설의 설계변화를 유발하는 장치, 운전 및 기술적 문제 등 모든 변경은 공정 신설과 같은 방법으로 변경 검토를 실시하고, 변경 검토 및 승인 과정에 안전에 미치는 영향과 기기 및 운전절차에 미치는 영향을 고려한 변경 보고서를 문서화 하도록 규정하고 있다. 변경관리 수행시 상기 2항목을 기반으로 검토해야 할 사항은 아래와 같다.

- 변경 설비에 관한 정보 관리
- 변경 공정에 관한 정보 관리
- 유해/위험물질에 대한 정보 관리
- 위험성 평가
- 근로자 교육 및 훈련
- PSM 보고서 up-date

3. 위험성 평가 기반 변경관리 체계

3-1. 기존의 변경관리 절차

장치산업의 변경관리 절차에 대한 guideline들 중 국내·외에서 가장 신뢰성 높은 요소들은 아래와 같으며, 이들 기관의 지침에 따라 대부분의 장치산업 사업장에서 변경관리를 수행한다.

- KOSHA code P-26-2000 변경요소관리 지침
- AIChE CCPS guideline
- EPA 40CFR68 management of change
- OSHA 1910.119 management of change
- ILO MOC guideline
- RC(responsible care) MOC guideline

위의 기술기준 code 및 법규에서는 변경관리 수행시 반드시 수행해야 할 사항들에 대하여 제시되어 있으며, 변경요소 발생시 관리해야 할 세부내용은 아래와 같다.

- 변경 설명
- 일시적 변경요소관리
- 변경 허가
- 안전성 검토
- 교육 훈련
- 문서 기록

이러한 사항들을 중심으로 변경요소관리 활동을 수행하도록 국내·외 안전분야의 지도기관에 의해 권고되고 있다. KOSHA, AIChE, EPA, OSHA, ILO 및 RC에서 권고하는 변경관리 절차로 도식화하면 Fig. 1과 같다. 변경의 첫 단계인 변경 요청부터 승인까지의 과정이 설명되어 있고, 국내의 대다수 사업장 또한 이와 같은 절차를 채택하여 변경관리의 기본으로 삼고 있다. 하지만 그 세부사항에 대해서는 각 사업장 특성에 맞도록 개발해야하는 어려움이 있으며, 특히 위험성 평가 수행 등 기술적 해결이 어려운 부분들이 상당부분 존재한다. 기존 변경관리 절차의 약점을 요약하면 다음과 같다.

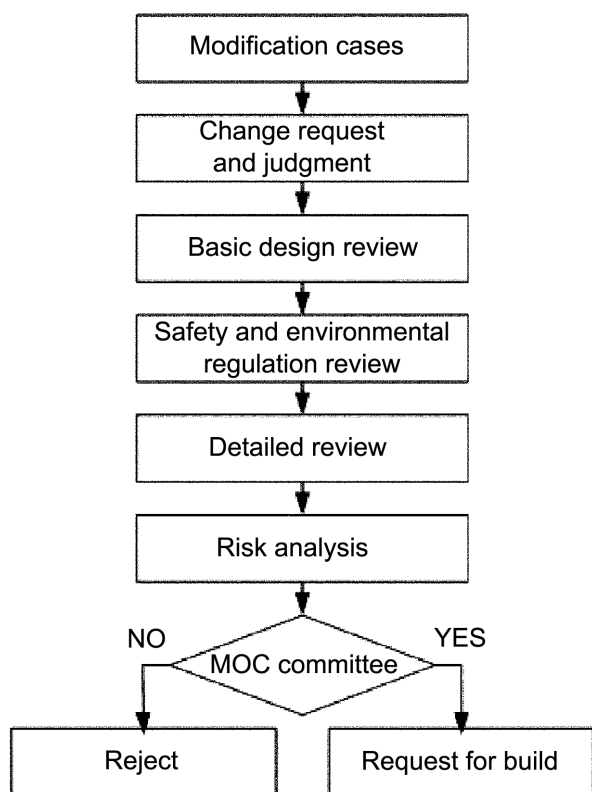


Fig. 1. General MOC (management of change) procedure.

- 변경 여부 판단 근거 부족
- 위험성 평가 실시 기준 미흡
- 위험성 평가 생략 방지 체계 부재
- 공정도면(P&ID) 등 up-date 미흡

따라서 본 연구에서는 이러한 사항들을 보완한 변경관리 절차를 연구하여 제시하고자 한다.

3-2. 변경관리 절차 개발

본 연구에서 제안하는 변경관리 절차는 기존 사업장 및 공정안전 지도·감독 기관에 의해 정립된 변경관리 절차들의 공통적인 문제점인 위험성평가의 생략 및 변경검토 실시의 부적절성에 대한 개선을 궁극적 목표로 하며, 위험성 평가의 수행을 변경검토 전 단계에 실시하여 위험성 평가의 내용 또한 재검토 할 수 있는 절차상 안전장치를 마련하였다.

변경관리 절차의 첫 단계는 변경 요청이며, 마지막 단계는 변경 승인에 의한 작업 수행이다. 앞서 검토한 내용을 토대로 변경관리 절차상 해결해야 할 기술적 사항이자 제안할 사항들을 요약하면 아래와 같다.

- 변경여부 판단 기준
- 변경 위험도 판단 기준
- 변경 공정 위험성 평가 checklist
- HAZOP 수행시 위험 기준
- Consequence analysis 수행
- 변경 검토의 실질적 수행

위의 사항들은 제시된 변경관리 절차의 핵심요소들로서, 변경관리시 필수적으로 수행하여야 하는 사항임에도 일부를 제외하고는 아직까지 합리적 방안이 제시되지 못하였으며, 본 연구에서는 절차에 따른 세부사항들을 제안할 것이다.

변경 관리의 흐름을 중심으로 구성된 변경절차를 단계 별로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 변경사항 발생시 변경여부를 적절한 기준에 의해 판단하는 과정을 거쳐, 임의로 변경여부를 판단하여 변경관리대상임에도 불구하고 정비 또는 일반 교체 작업으로 분류하는 오류를 방지할 수 있도록 구성하였다.

둘째, 변경사항의 위험정도에 따라 위험성 평가의 심화도를 결정하여 변경 위험도를 산정하는 단계를 마련하였다.

산정된 위험도에 따라 checklist 기법의 위험성 평가만을 수행할 것인지, HAZOP와 consequence analysis를 수행할 것인지 결정하게 된다.

셋째, 수행된 위험성 평가결과를 변경검토 사항에 포함시켜, 평가 결과의 재검토를 수행하는 안전성 향상을 위한 장치를 마련하였다. 이것은 기존의 변경관리 절차에서 해결하지 못한 중요한 부분으로 단지 생산성 및 기술적 근거의 변경 검토에서 안전성을 고려하는 변경관리로의 전환점이 될 수 있는 위험성 평가 기반 변경관리 절차의 핵심 요소이다.

위 사항들을 도식화한 위험성 평가 기반 변경관리 절차는 Fig. 2와 같다.

또한, Fig. 2의 변경관리 절차를 수행하는 주체들에 대한 제안사항은 다음과 같다.

- 변경요청자
 - 변경요소 발생 부서 담당자
- 위험성 평가 TFT(task force team)

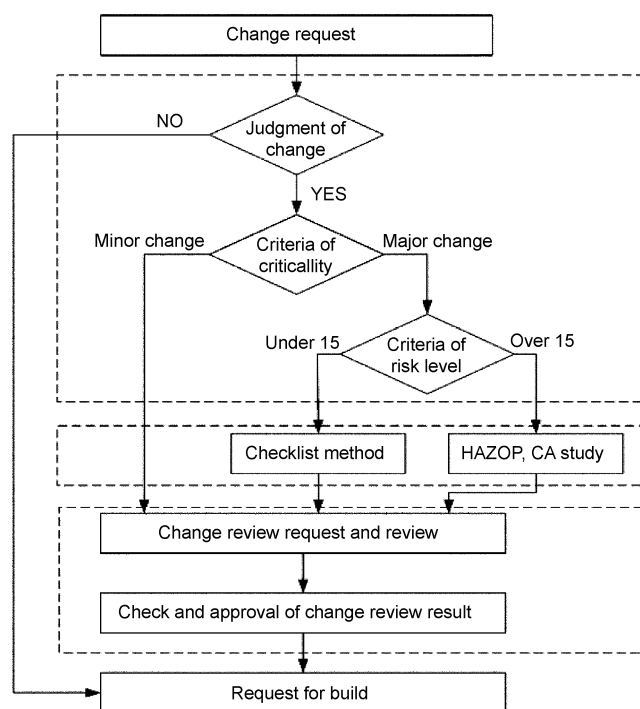


Fig. 2. MOC (management of change) procedure based on risk assessment.

Table 2. Change without authorization

Elements
1. Equipment or piping repair in conformity with the repair procedure
2. Equipment or piping replacement (same spec)
3. Heat exchanger, piping etc. cleaning
4. Insulator replacement
5. Packaging
6. Painting
7. Instrument repair
8. Operating information alarm change
9. Modification in conformity with Inherent MOC experience or standard operating practice

- 팀 리더 및 서기
- 운전 담당 엔지니어 및 운전원
- 기술 담당 엔지니어
- 안전·환경 담당 엔지니어
- 전기/계장 담당 엔지니어
- 유비보수 담당 엔지니어
- 기타 필요하다고 판단되는 전문가
- 변경관리 위원회
 - 위원장: 공장장 또는 선임 팀장
 - 위원: 변경 요청건 관련 과장급이상 담당자

3-3. 변경 판단 기준

변경관리의 주요단계 중 하나로서 변경관리 절차 중 첫번째 의사

결정 단계이다. 변경판정기준은 변경여부를 판정하기위한 명확한 기준을 제시하여, 변경관리 수행 정도를 구분 짓는 결정도구이다.

화학공장 및 장치산업의 안전관리를 지도·감독하는 기구인 한국 산업안전공단에서는 “KOSHA Code P-26-2000 변경요소관리 지침”을 제정하여 변경요소관리를 위한 guideline을 제시하고 있고, 각 사업장들은 자체적인 판단에 의한 변경여부 판정을 실시하는 것이 현 상황이며, 주로 인허가 사항을 위주로 판단하는 것이 주를 이루고 있다[8].

한국산업안전공단에서 시행하고 있는 공정안전관리제도(PSM)의 변경요소관리 기준에 의하면 아래의 세 가지 사항에 대해서 공정안전 보고서(PSM 보고서) 제출을 의무화하고 있다[7].

- 반응기(관련설비 포함)의 교체 또는 추가설치
- Flare stack의 설치 또는 변경
- 변경설비 당해 전격용량의 합이 300 KW 이상

따라서 본 연구에서도 위의 세 가지 사항을 중대변경으로 구분한다. 더불어 합리적이고, 효율적인 변경판정기준을 연구하기 위하여 국내 및 해외 기준을 분석하였다. Table 2에 승인이 불필요한 사항을 구분하였으며, 이외의 사항들은 모두 승인이 필요한 변경으로 구분한다.

국내 법적기준 및 기술적 guideline을 충족시키기 위하여 본 연구에서 제안된 변경판단기준은 그 항목의 구분이 명쾌하고, 용이한 적

Table 3. Decision making checklist of change management

No.	Classification elements	Y/N
1	Do new chemicals add-up in process by the modification?	
2	Do construction materials change by the modification?	
3	Does the modification lead process to pollution, impurity increasing and another problem?	
4	Does process need to tie-in with another process?	
5	Does the modification lead process to use abnormal chemicals as a raw material?	
6	Does the modification lead process to abnormal operating condition as out of ordinary safe operating range?	
7	Does the operating safety margin decrease?	
8	Do the procedures and sequency such as batch and continuos operation, shutdown, maintenance and emergency operation practise require to change?	
9	Is there new type process upset?	
10	Are upsets happening often more than before modification?	
11	Does the equipment maintenance procedure require to change?	
12	Are operators', who keep the process operating condition and response process upsets, operating ability getting worse by the modification?	
13	Take process equipment to pieces or change a use, material, structure of main equipment?	
14	Do the protection systems such as alarm, interlock, trip, etc. require to change?	
15	Do the emergency relief systems and sizing standards require to revise?	
16	Does the modification make new ignition sources, flammable material release and increasing fire accident likelihood?	
17	Does the modification make process accident severity getting worse?	
18	Do fire fighting systems require to adjust or rearrangement?	
19	Is there new facility by modification?	
20	Is there new standard operating practice?	
21	Is there new process hazards?	
22	Does the modification make process getting danger?	
23	Is the process interconnection and interaction with other processes affected by the modification?	
24	Is the accident response system affected by the modification?	
25	Is the process changing temporary piping, joint and using hose under ordinary operating condition?	
26	Does a review reactivity of process chemicals and changing building materials?	
27	Does a review the equipment operability of alternative one to keep ordinary operating condition?	
28	Is it simple replacement and repair?	
29	Is it simple replacement as same spec?	

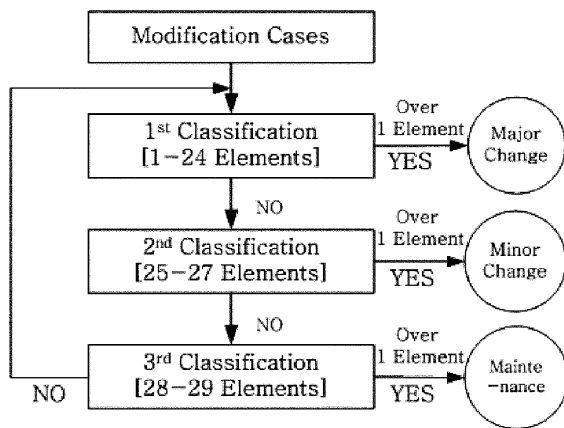


Fig. 3. Decision making flow for change management.

용을 위해 check-list 방식의 판정표를 그 성과물로서 도출하였다. 그 결과 Table 3과 같은 요소들이 매우 중요한 판단 요소들로 도출되었으며, 중대변경(major change), 경미한 변경(minor change) 및 유지보수(maintenance) 사항 여부를 판단하는 핵심 판단근거 역할을 하게 된다.

변경판정기준 checklist는 3단계 구조의 29개 판정기준 항목으로 구성되었으며, 첫번째 단계는 1번에서 24번의 24개 항목으로 이루어진 checklist이며, 중대변경 사항을 판정하기 위한 항목들로서 구성되어 있다. 두번째 단계는 경미한 변경요소(minor change)들을 판정해내기 위한 항목들로서 25번에서 27번까지의 3가지 항목으로 개발되었다. 세번째 단계는 변경이 아닌 기존과 동일한 것으로 바꾸는 것, 교환을 판정해내기 위한 28번에서 29번까지의 2가지 항목으로 개발되었다.

또한 변경여부를 판단하는 수행 절차는 Fig. 3과 같이 3단계의 과정으로 제시하였다.

3-4. 변경 위험도 산정 기준

요청된 변경 사항에 대하여 수행할 위험성 평가의 종류 및 범위를 결정하기 위하여 변경 위험도 판단기준에 대하여 연구를 수행하였으며, 현재까지 제안된 위험지수에 관한 기법 중 변경관리에 적용이 용이한 두 가지 기법에 대하여 검토를 실시하였다.

- DOW 화재/폭발 지수법[11]
- 공정위험지수법(한국산업안전공단 기술기준)[3]

위의 두 가지 위험지수법 중 화재폭발 지수법은 화학물질의 화재 및 폭발 특성은 매우 잘 구성되어 있으나, 그 외의 부분에 대한 검토가 다소 미비한 단점이 존재하며, 다소 복잡한 사용체계를 가지

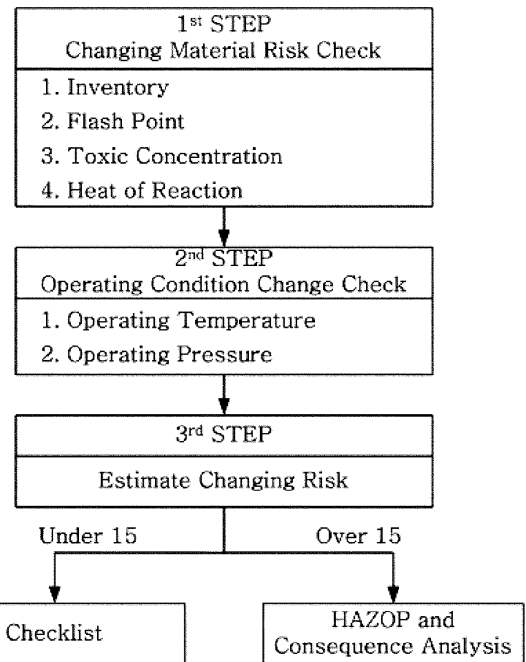


Fig. 4. Changing risk estimation flow.

고 있다[11]. 또한, 한국산업안전공단에서 제시한 공정위험지수법은 공정안전관리제도(PSM)를 운영하기 위한 guideline으로서 공정은, 원료물질의 특성 등을 반영하여 점수화한 기법으로 변경 사항에 대한 위험도 우선순위를 제시하기에 적합하다. 또한, 적용이 용이한 장점을 가지고 있다고 판단되며, 이에 본 연구에서는 한국산업안전공단에서 제시한 공정위험지수법 체계를 따라 변경위험도 판단 기준을 마련하였다. 제시된 변경위험도 판단기준은 Table 4와 같이 변경 물질과 공정운전조건에 대하여 그 판단근거와 위험도 산출 방법을 제시하고 있다.

변경위험도는 Fig. 4의 절차를 따르며 15 미만인 경우 정성적 위험성 평가 기법인 checklist를 활용한 위험성 평가만 수행하며, 15 이상인 경우 정성적 위험성 평가 기법인 HAZOP 기법 및 consequence analysis를 수행하여야 한다.

4. 사례연구

본 연구에서는 화학공장에서 자주 발생하는 경우에 해당하는 배관교체 및 변경관리 관련 역사적 사고로 평가되고 있는 영국의 Flixborough 사고에 대하여 제안된 변경절차에 따른 변경 위험도를 평가하였다.

Table 4. Changing risk matrix

Risk		1	2	3	4	Risk index
Indices elements						
Material	Increase (kg)	Under 1,000	1,000 ~ 45,000	45,001 ~ 90,000	Over 90,000	
	Flash Point (°C)	Over 37.8	37.8 ~ 22.8	22.7 ~ -17.8	Under -17.8	
	TLV-TWA (ppm)	Over 500	500 ~ 201	200 ~ 5	Under 5	
	Heat of Reaction (kcal/mol)	No Reaction	0 ~ 50	51 ~ 100	Over 100	
Parameters	Operating Temperature (°C)	No Change	0 ≤ T ≤ 100	-45 < T < 0, 100 < T < 340	T ≤ -45, T ≥ 340	
	Operating Pressure (kg/cm ²)	P < 1.05	1.05 ≤ P < 10.5	10.5 ≤ P < 42.2	P ≥ 42.2	
Total risk indices						

※ TLV-TWA (threshold limited value - time weighted average)

Table 5. Estimated changing risk

Indices elements		Risk				Risk index
		1	2	3	4	
Material	Increase (kg)	Under 1,000	1,000~45,000	45,001~90,000	Over 90,000	1
	Flash point (°C)	Over 37.8	37.8~22.8	22.7~17.8	Under -17.8	1
	TLV-TWA (ppm)	Over 500	500~201	200~5	Under 5	3
	Heat of reaction (kcal/mol)	No Reaction	0~50	51~100	Over 100	1
Parameters	Operating temperature (°C)	No Change	0≤T≤100	-45<T<0, 100<T<340	T≤-45, T≥340	1
	Operating pressure (kg/cm ²)	P<1.05	1.05≤P<10.5	10.5≤P<42.2	P≥42.2	2
Total risk indices						9

4-1. 배관재질 변경

○○ 주식회사의 styrene 공급배관이 위치한 공정 지역의 배관 재질 교체 사례로서 임시배관을 설치하며, 목적은 배관 교체를 위한 by-pass 설치를 위한 것이다. 변경여부는 Table 3의 변경 판정표를 활용하였으며, 2번 항목 및 25번 항목에 해당되어 상위 등급인 major change 사항으로 판단되었다.

또한 Table 5에 의한 변경 위험도의 산정 결과는 9점을 나타내며, 아래의 사항들을 근거로 계산되었다.

- 배관 내 유체: Styrene(CAS No: 96-09-3)
- 물질 증가량: 없음
- 물질의 인화점: 165 F (74 °C)
- TLV-TWA: 50 ppm
- 반응조건: 반응 없음
- 운전온도: 변화 없음
- 운전압력: 5 kg/cm²

따라서 본 변경건은 checklist 기법을 활용한 위험성 평가만을 수행하게 된다.

4-2. Flixborough 사고에 대한 고찰

1974년 6월 1일 토요일 영국의 Flixborough에 위치한 Nypro사의 카프로락탐 공장에서 cyclohexane 누출에 의한 VCE(vapor cloud explosion) 사고가 발생하였다. 해당공정은 나일론의 원료인 카프로락탐 생산시설이며, 6개의 반응기 중 고장으로 가동 중지된 5번 반응기를 교체하기 위한 변경 중에 일어난 사고로, 사고 원인은 아래와 같다[12].

- 고장 난 반응기를 by-pass
- 임시비계로(scaffolding jury) 20 inch 배관연결 by-pass 부분 지지
- 장치 강도시험 미 시행
- 산업 및 제조자 권고사항 위반

위 사고의 경우를 본 연구에서 제안된 절차에 따른 변경 위험도 산정 결과는 아래와 같다.

3.3절의 기준에 의해 반응기 교체사항의 중대변경으로 구분되며, 본 연구에서 제안된 절차에 의해 정성적 위험성평가와 정량적 위험성평가를 모두 수행해야하는 변경사항으로 구분된다.

위의 두 가지 사례연구에서 보듯이 위험성 평가에 기반한 화학산업의 변경관리 방법은 공정에서 이루어지는 수많은 변경 사례에 대한 기본적인 안전성 확보를 위한 최소한의 기틀을 제공해주며, 수치

적 접근에 의한 편리한 변경관리를 수행할 수 있는 방법이라고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 장치산업에 위한 변경관리 절차와 기술적 애로사항을 해결하기 위한 제반사항들을 정립하여 변경관리 체계를 제안하였다. 제안된 변경관리 체계는 변경공정에 대한 위험성 평가를 변경 검토 이전 과정에서 수행하여 위험성 기반의 변경 검토를 수행할 수 있는 토대를 마련하였다는 특징이 있다. 이러한 결과는 기존의 단순한 해당 업무에 대한 검토가 아닌 위험도를 고려한 장치산업 변경검토의 체계적 안전장치를 제공한다. 또한, 의사결정단계에서 공학 기술적 이론에 충실한 판단 근거들을 제시하였다.

본 연구에서 수행된 위험성 평가 기반 변경관리 시스템의 연구결과는 다음과 같다.

(1) 위험성 평가를 기반으로 하는 변경관리 절차를 제안하여 변경 검토시 위험도 기반의 다각적 분석을 통한 안전성 확보를 가능하게 하였다.

(2) 변경 관리의 기술적 판단요소들을 제공하여 현장에서 필요로 하는 기술적인 애로 사항을 해결할 수 있는 근거를 마련하였다.

본 연구의 성과는 위와 같으며, 향후 공정 안전 시스템이 나아가야 할 방향을 파악할 수 있다는 것이 부가적인 성과였다. 또한, 과거의 사고에 대한 사례연구를 통하여 본 시스템의 안전성 향상에 대한 역할을 기대할 수 있었다.

감 사

이 연구 결과는 소방방재청의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Gibby, J., Mark, K. and Lisa L., Lessons After Bhopal: CSB a Catalyst for Change, *J. Loss Prevention in the Process Industries*, **18**(4-6), 537-548(2005).
2. AIChE, Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety, New York(1992).
3. Kwon, H. M. and Beak, J. B., Development of Changing Management Software(K-MOC) for Chemical Plant, *J. KOSOS*, **21**(1), 72-78(2006).
4. Lees, F. P., Loss Prevention in the Process Industries, Second edition, Butterworths(2001).

5. Knowlton, E., Creative Checklist Hazard and Operability Studies, Chemical Manufactures Association, Process Safety Management Workshop, Arlington, Virginia(1985).
6. Lees, F. P., Loss Prevention in the Process Industries, Butterworths(1980).
7. KOSHA Code P-26-2000(2000).
8. OSHA, CFR 1910.119 Management of Change, <http://www.osha.gov>.
9. The Office of The Federal Register National Archives and Records Administration, 40 CFR Part 68(1998).
10. ILO, MOC Guideline, <http://www.ilo.org>.
11. AIChE, Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide(7th Ed.), New York(1994).
12. Parker, R., Otway, H. J. and Knight, H. T., The Flixborough Disaster, *Report of the Court of Inquire*, HM Stationery Office, London(1975).