

# FMEA를 활용한 플랜트공사 위험성평가 방안

김호민<sup>†</sup> · 우인성<sup>\*</sup>

인천대학교 대학원 · \*인천대학교 안전공학과  
(2013. 2. 6. 접수 / 2013. 7. 25. 채택)

## A Study of Methods on Risk Assessment for Plant Construction using FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

Ho Min Kim<sup>†</sup> · In Sung Woo<sup>\*</sup>

Graduate School, University of Incheon · \*Department of Safety Engineering, University of Incheon  
(Received February 6, 2013 / Accepted July 25, 2013)

**Abstract** : To meet increased demand and lead to execution of successful overseas's plant construction, A prompt System is urgently needed to carries prevention and control of hazards associated with work related tasks and activities. This study is aimed to develop efficient and reliable safety management program to identify control measures for high risk activities by choosing and conducting proper risk assessment methodology that addresses Risk Priority Number(RPN) of adverse effects.

**Key Words** : FMEA, risk assessment, evaluation criteria

### 1. 서론

#### 1.1. 연구배경 및 목적

플랜트 건설산업은 정유설비, 가스플랜트, 석유화학 설비 등 거대한 자본재를 건설하는 산업이다. 최근에는 단순히 기계를 설치하는 것뿐만 아니라 프로젝트의 사업성을 검토하고, 금융을 주선하며, 수주, 설계, 구매, 시공은 물론 사후 운영을 위한 기술적인 책임까지 포괄하는 것으로 컨설팅 등 서비스, 제조기술, 복합금융 등을 융합한 부가가치가 높은 지식집약형 산업으로서 제조업과 서비스업의 성격을 동시에 갖고 있는 융합 산업이다. 플랜트 건설의 경우 EPC 발주방식이 일반화 되어 있고, 일반 건설과 달리 기술경쟁력과 기자재 구입비용이 궁극적인 경쟁지배 요소가 되고 있으며, 대금지급이 주로 장기간 연불방식이기 때문에 수출금융 문제가 발생할 수 있어 프로젝트 관리 및 통합관리가 사업의 손익과 성패를 좌우하는 산업이다. 특히 화공플랜트는 다수의 생산요소를 결합, 패키지화한 형태로 제공되는 것이 일반적이다. 계약자가 단순 시공만을 담당하는 것이 아니라 설계 및 엔지니어링, 기자재, 장비 등의 하드웨어 설치, 건설시공을 일괄 제공 하는 방식으로 사업수행이 이루어지는 복합 산업이다. 기업의 해외 플랜트 수주액은 국제유가가 상승하기 시작한 2004년 이후 급격한 상승세를 보이고 있다. 특히 최근 국내 건설사들에게 있어 플랜트 부문은 대규모 프로젝트 신규 수주 및 영업이익 등 주택경기의 침체에 따른 건설업의 위기를 극복할 수 있는 돌파구 역할로서 그 위상을 더해 가고 있다. 상기와 같이 지속적 증가추세에 있는 플랜트 공사를

안전하게 건설하기 위해서 사전에 발생 가능한 위험요인을 작업 공종별로 도출하고, 여기에 개선대책을 수립 할 수 있는 시스템이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 또한, 사전 위험성평가를 통하여 문제점과 해결책을 제시하고, 기초공사에서 마감공사에 이르기 까지 가장 안전한 공정수행과 안전한 작업방법을 제시함으로써 재해를 사전에 예방할 수 있는 위험성관리 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 플랜트 공사에 있어 중점적으로 관리해야 할 위험요인 도출하기 위하여, 현장 안전 활동에 적합한 위험성 평가기법을 선정하고 그에 따른 단위작업별 위험성 평가를 통해 위험의 우선순위 항목을 도출하는 방법으로 보다 효율적이고 신뢰성 있는 안전관리방안을 제시하고자 한다.

#### 1.2. 연구방법

본 연구에서는 이론적 고찰을 통해 작업 전 체계적인 사전 위험성관리 체계를 구축하기 위한 방법 및 절차를 연구하였다.

기존 이론적 고찰을 통해 위험성평가 목적 및 종류 등을 살펴보고, 국내 및 해외의 위험성평가 사례 분석을 통해 문제점 및 개선방안을 도출하였다. 이를 기반으로 고장형태와 영향분석 기법(FMEA : Failure Mode and Effect Analysis)을 활용하여 플랜트 건설공사 현장에 적합한 FMEA 평가척도를 정립하고, 효율적인 작성절차 및 역할 등 프로세스를 확립<sup>2)</sup>하였다. 이를 통해 사고의 유형과 심각도, 발생도, 위험도를 측정하고 위험의 우선순위를 선정하는 등 위험성평가 방법 및 체계적인 관리방안을 제시하고자 한다.

<sup>†</sup>Corresponding Author: Ho Min Kim, Tel: +82-10-9292-1077, E-mail: homin0122@naver.com  
Graduate School, University of Incheon, 119, Academy-ro, Yeonsu, Incheon 406-772, Korea

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. 위험성평가 개요 및 목적

플랜트 공사의 사고를 사전에 방지하기 위하여 가장 먼저 해야 할 일은 공정 중에 존재하는 모든 위험을 찾아내어 이를 확인(Identification)하고 분석(Analysis)하는 것이다. 왜냐하면, 위험이 확인되지 않은 상황에서는 그 위험을 제거하고 통제하는 적절한 대책을 수립할 수 없기 때문이다. 위험요소를 사전에 규명하여 평가, 분석하기 위해서는 위험을 규명하는 방법, 규명된 위험의 발생 빈도, 심각도, 검출도를 산출하여 위험의 우선순위(Risk Priority Number)를 분석할 수 있는 기법이 필요하다. 특히 화재·폭발·누출과 같은 대형 사고를 예방하기 위해서는 위험을 찾아내어 그 위험이 얼마나 자주 발생할 수 있는가를 평가하는 것 뿐만 아니라 심각성, 미치는 영향을 파악하는 것도 매우 중요하다.

위험성평가의 목적은 설계, 건설, 시운전 및 조업과정 등 모든 과정에서 발생될 수 있는 위험을 사전에 발굴하여 감소하는 데 그 목적이 있다. 즉, 가동/설계/건설 중인 시설의 위험성을 정량화하고 공정에 잠재하는 위험성의 우선순위를 결정하여 위험성평가를 통해 재해방지 대책을 제시<sup>1)</sup>하는 일련의 과정을 통해 위험을 체계적으로 감소시키는 중추적인 역할을 하게 된다. 발생 가능한 사고 및 재해특성을 규명하고 발생빈도 및 결과예측은 물론, 잠재된 기계적 결함과 Human error를 분석하는 데 활용되고 있다. 또한 설비의 운전성 및 경제성조사, 사고원인 조사, 변경된 설비관리 및 설비보전차원의 기계적 완벽성 확인기술 등 다양한 목적으로 유용하게 사용하고 있다.

### 2.2. 위험성평가 단계 및 종류

위험성을 평가하는 단계는 다음 아래와 같다.

#### 2.2.1. 잠재위험 규명(Hazard Identification)

공정 내에 잠재하는 위험요소 확인 및 분석하는 단계로 HAZOP, What-If, FMECA 등이 있다.

#### 2.2.2. 사고발생확률 분석(Accident Frequency Analysis)

사고의 발생가능성 분석 및 계산, 사고사례 분석 및 관련 데이터를 수집하는 단계로 FTA, ETA, CA 등이 있다.

#### 2.2.3. 사고영향 분석(Accident Consequence Analysis)

사고의 피해 영향 분석하는 단계로 Source Modeling, Dispersion Modeling, Effect Modeling 등이 있다.

#### 2.2.4. 위험계산 및 표현(Presentation of Risk Measures)

개인적 위험 (Individual Risk Contour)과 사회적 위험 (F-N curve)이 있다.

#### 2.2.5. 위험성 평가 및 대책

위험의 수용 여부를 판단하고 안전장치 설치 및 방지 대책 수립하는 단계이다.

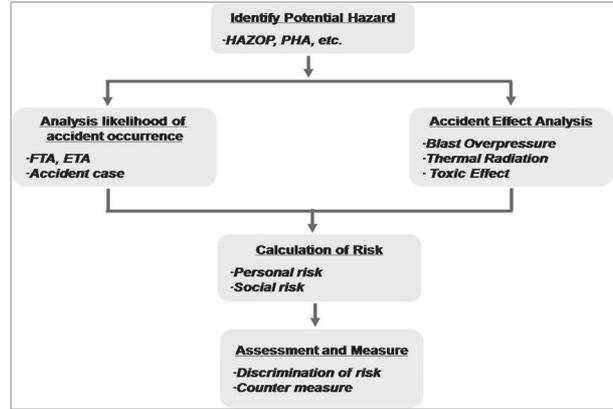


Fig. 1. Steps of risk assessment.

Table 1. Qualitative risk assessment.

Types	Description
Checklist	It is a useful tool that can be recognizing of minimal risk by utilizing the pre-prepared checklist. frequently use to demonstrate about progress according to standard procedure
PHA	The analysis technique that recognize the risk in advance at the design stage of the process so when hazard is found later can be saving the cost. Applied in the early stages of the plant development
HAZOP	Method to derive systematically about risk factor of processand operating issues caused by desorption phenomenon which deviate from the design intent
FMECA	Method to grasp FM and influence of FM by making chart for precedence of the risk about the failure mode result of process or plant equipment and failure mode
What-IF	Brainstorming approach that uses "What If" by organized specialist questioning to: - Postulate potential upsets that may result in accidents or system performance problem. - Ensure that appropriate safeguards against those problems are in place

\* PHA : Preliminary Hazard Analysis

\* HAZOP : Hazard and Operability

\* FMECA : Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Table 2. Quantitative risk assessment.

Types	Description
FTA	Method to identify causes on specified one accident not all system failure. Efficient method to evaluate frequency of accident using FAULT to combine a series of lower level events
ETA	Analysis technique for identifying and evaluating the sequence of events in a potential accident scenario following occurrence of an initiating event
CCC	blend of fault tree and event tree analysis to identify chains of events that can result in undesirable consequences.

\* FTA : Fault Tree Analysis \* ETA : Event Tree Analysis

\* CCC : Cause-Consequence Analysis

위험성 평가종류는 정성적 평가와 정량적 평가가 있다. 정성적 평가는 어떠한 대상에 대하여 상대적으로 위험하다. 그렇지 않다는 막연한 결론을 가지고 위험여부를 결정하는 것을 말한다. 따라서 정성적 평가는 초기계획단계나 유지관리 중 위험성을 선택적으로 어느 공정을 세부적으로

계측기기를 붙이거나, 지속 관찰할지 대상을 정하게 되는 단계라 할 수 있다.

정량적 평가는 어떠한 장치나 위험요소의 발생 확률로 분석(확률론적 방법)하거나 위험의 크기를 정량적으로(수치 등) 나타내어 위험도를 산출하는 방법이다. 따라서 정량적 평가는 대상물의 위험도를 알기 때문에 장치나 위험요소를 교체할지 안할지를 바로 결정할 수 있다.

최근에는 무수히 많은 위험성평가 방법이 있으며, 정성적인 방법을 개량하여 정량적 방법으로 대체하기도 한다.

### 3. 위험성평가 추진사례

#### 3.1. 국내 위험성평가 사례

국내 위험성평가 제도는 노동부, 한국산업 안전 보건공단이 주관하는 KOSHA 18001 안전보건경영시스템에 그 근거를 두고 있다. 위험성평가 방법 및 운영은 건설사별로 정도의 차이는 존재하지만 거의 비슷한 특성을 가지고 있다. 다만 실형 측면에서 다소 차이를 보이고 있다. 이번 연구에서는 P사의 위험성평가 사례 및 운영현황을 표본으로 하여 고찰해 보고자 한다.

위험성평가표 작성방법은 다음 아래와 같다.

- 1) 현장 공사종류 별로 작업공정을 분류하고 그에 따른 단위작업을 순서대로 분류한다.
- 2) 작업공정의 단위작업 및 장비, 설비 등에 대해 발생 가능한 위험요인을 도출한다.
- 3) 도출된 위험요인에 발생빈도 및 심각도를 고려하여 평가를 실시하고 평가합계를 산 정하여 평가등급을 결정한다.

상기에서 평가된 위험성 평가표를 기반으로 다음의 절차에 의거 위험성 등록부를 작성한다.

- 1) 4,6,9등급의 위험요인에 대해 위험성등록 부에 등록한다.
  - 2) 등록된 각 위험요인에 대한 대책을 기술적 교육적, 관리적으로 종합하여 수립한다.
- 상기에 의거 위험성등록부가 적성되게 되면 해당 공중의 관리감독자, 협력업체 관계자에게 교육, 홍보를 통하여



Fig. 2. Flow chart of risk assessment.

Table 3. Occurrence.

Level	Description	Score
High	Very high occurrence of creating an accident Over 20% of all accidents	3
Medium	High occurrence of creating an accident 10~20% of all accidents	2
Low	Moderate occurrence of creating an accident Less than 10% of all accident	1

Table 4. Severity.

Level	Description	Score
High	Severity of an accident is very high Over 3months of medical treatment	3
Medium	Severity of an accident is moderately high 4~12weeks of medical treatment	2
Low	Severity of an accident is moderately medium Less than 4 weeks of medical treatment	1

Table 5. Risk level.

	Risk	Control plan	Note
1	Minor Risk	Training	Secondary Control
2,3	Acceptable Risk	Daily Control	
4,6	Undesirable Risk	Improve work methods	Mandatory Control
9	Unacceptable Risk	Elimination	

No.	SMP-02-01	Subcontractor			HSE Dept.			SM/Manager		
Type	Risk Assessment	[Signatures]								
Title	Weekly Risk Assessment (GAMRO CONSTRUCTION Co. Ltd.)									
Name	Byung-Ki Ye	Written date	14-Nov-08	Discipline	Building Construction					
Work	Used Equipment	Job Hazards	Type of accident	Severity	Frequency	Hazard Level	Selection of Management	Preventive measures	Remarks	
A, B, C Building	three Tower cranes	falling objects during lifting ACS	Falling objects	Medium	Medium	4	•	Start lifting after removal of remaining materials on working platform		
		Fire hazard due to overload of electricity during Heat generator after concrete pouring	Fire	Medium	Medium	4	•	2 person/ team Safety training before commencement of work		
		Falling working platform due to damage of strength during lifting ACS in winter season	Falling objects	High	High	6	•	Management of labors		

Fig. 3. Examples of risk assessment.

근로자에게까지 주지될 수 있도록 조치하고 현장 운영을 통해서 이행여부를 주기적으로 모니터링을 하고 Feed Back 한다.

국내 P사의 위험성평가 사례를 통해 고찰해 본 결과 장점은 아래와 같다.

- 1) 체계적 위험요인 도출 및 작업자가 체감하는 실질적인 위험요인 도출이 가능하다.
- 2) 사전 우선 관리대상 위험작업 식별을 통한 지속적인 예방활동이 가능하다.
- 3) 근로자 중심의 위험요인 관리를 통한 인적 및 조직 관리 차원의 접근이 가능하다.
- 4) 사업장 특성별 예방대책 수립이 가능하다. 반면에, 위험성평가 적용을 통한 노출된 문제점은 아래와 같다.

- ① 위험요인 관리에 따른 비용 증가 우려 및 공사관리

자, 협력사 역할 저조에 따른 운영 상의 효과가 미흡하다.

- ② 평가에 따른 서류화 작업에 따른 부담 및 위험성 평가방법 등 정량적인 기준이 미흡하다.
- ③ 위험성평가 작성관련 전문인력 부재 및 현장의 관리 능력에 따른 수준차이가 발생한다.
- ④ 활용 가능한 기술 자료가 부족하다.

### 3.2. 해외 위험성평가 사례

해외 위험성평가 제도는 국가별, 사업주별 다소 차이를 보이고 있으며 어떤 경우에는 위험성평가를 제도화 시켜 의무화 하고 있는 경우도 있다. 해외사업장의 경우 주로 사용되고 있는 위험성평가 관련 용어는 JHA(Job Hazard Analysis), JSA(Job Safety Analysis)가 있다. 이 장에서는 S사가 수행하고 있는 해외프로젝트를 대상으로 사우디 국영기업체 Aramco사의 위험성평가 제도를 고찰해 보고자 한다.

Aramco사의 위험성평가 절차는 아래와 같다.

- 1) 작성시기 : 해당작업 수행 전
- 2) 작성대상 : 공종별 모든 신규발생 단위공정
- 3) 작성절차
  - ① Classify work activities
  - ② Identify hazards - What can cause loss
  - ③ Determine risk
  - ④ Classify hazards and risks
    - See Hazard and Risk Assessment Matrix
  - ⑤ Develop and implement risk control action plan(if necessary)
  - ⑥ Review action plan periodically
- 4) 승인절차
  - ① 협력사 : 공사작성, HSE 검토, 소장승인
  - ② 시공사 : 공사검토, HSE 검토, 소장승인
- 5) Risk Score : 발생빈도 X 위험의 심각성

Table 6. Risk level.

Level	Description
1	Death, system loss, or irreversible environmental damage
2	Severe injury, occupational illness, major system damage, or reversible severe environmental damage
3	Injury requiring medical attention
4	Possible minor injury, minor system damage, or minimal environmental damage

Table 7. Occurrence.

Level	Description
A	Expected to occur frequently.
B	Will occur several times in the life of an item.
C	Likely to occur sometime in the life of an item.
D	Unlikely, but possible to occur in the life of and item.
E	So unlikely it can be assumed occurrence may not be experienced.

OCCURRENCE	Hazard Severity			
	1 - Catastrophic	2 - Major	3 - Moderate	4 - Minor
A - Frequent	1A	2A	3A	4A
B - Probable	1B	2B	3B	4B
C - Occasional	1C	2C	3C	4C
D - Unlikely	1D	2D	3D	4D
E - Remote	1E	2E	3E	4E

CATEGORIES	HIGH	SERIOUS	MEDIUM	LOW
ACTION	IMMEDIATE	WITHIN 1-7 DAYS	WITHIN 30 DAYS	WITHIN 90 DAYS

Fig. 4. Hazard and risk assessment matrix.

The figure shows a Job Hazard Analysis (JHA) worksheet for a scaffolding erection project. It includes sections for 'Activity Order', 'Potential Hazards', 'Risk Rating', and 'Hazard Control Proactive Measures'. The worksheet is filled out with specific details for the task, such as 'Delivery of Scaffolding Materials to job site location' and 'Material handling from ground level to top structural platform of 30'-00"'. It also includes a signature line for the preparer and approver.

Fig. 5. Examples of JHA.

위험성평가 결과 관리기준은 (Fig. 4)와 같다.

상기에 의거 작성된 S사 000프로젝트 JHA는 아래 Fig. 5과 같다.

S사의 JHA 작성사례 및 운영실태를 통해 고찰해 본 결과 장점은 아래와 같다.

1) 신규로 발생하는 모든 단위작업에 대하여 의무적으로 공사수행 전 승인을 얻어야 함으로 모든작업에 대한 위험관리가 가능하다.

2) Work Permit Issue시 반드시 JHA가 첨부가 되어야 하고 실행여부를 확인할 수 있어 운영관리 측면에서 효율적이다.

3) 사업주가 모든 단위공종에 대하여 JHA 승인 여부를 관리감독 하고, 없는 경우는 작업을 중단하기 때문에 효과는 양호하다.

반면에, JHA를 작성 및 실행 측면에서 도출된 문제점은 아래와 같다.

1) 협력사 규모, 수준에 따라 JHA 작성능력 및 실제 이행여부에 있어 현격한 차이가 난다.

2) 시공사 공사관리자가 해당공정 JHA를 형식 적으로 검토한다.

3) Method Statement(작업절차서)에 의거 JHA를 작성하지 않는 경우가 많이 발생한다.

4) 평가방법 및 관리가 세부적이지 못하다.

## 4. 고장형태와 영향분석 (FMEA)

#### 4.1. FMEA개요

FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)는 1960년대 중반 미 항공우주국(NASA)의 아폴로 발사 계획에서 최초로 활용됐으며, 1974년에 미해군에서 자신들이 설계하고 발사하는 로켓의 실패에 따른 위험요소를 미연에 방지하기 위하여 FMEA라는 기법을 창안했다. 그리고 1970년대 자동차 업계의 경영 적자 누적과 제조물 책임 비용에 대응하기 위하여 FMEA 개념을 적극적으로 도입하면서 전 산업계에 전파되기 시작했다. 1980년대 미국의 자동차회사 Big 3가 납품업체에 FMEA를 제출토록 의무화 하고, 또한 ISO 9000을 강화한 QS 9000을 제정하면서 FMEA를 필수 항목으로 제정하였다.

FMEA기법은 설계된 시스템이나 기기의 잠재 적 고장 모드를 찾아내고 고장이 발생하였을 경우 영향을 조사 평가하여 위험의 우선순위가 높은 소수의 항목에 관리를 집중함으로써 실패를 예방하고 그 영향을 최소화하기 위한 체계적인 접근 방법이다. 또한 FMEA는 상향(Bottom-up)적인 신뢰성 분석방법으로서 기본적으로 전체 시스템의 고장을 조사함에 있어 개별 부품의 고장으로부터 검토하는 접근방식<sup>6)</sup>이다.

FMEA는 주로 아래와 같이 활용되고 있다.

- 1) 잠재고장 형태를 구조적으로 분석하여 고 장을 사전에 예방하기 위하여 사용한다.
- 2) 설계변경시 기존제품이나 공정에 대한 체계적인 정보를 제공해 주는 기능을 한다.
- 3) 제품 또는 공정의 중점관리 대상을 선정하 는 기준으로 활용된다.
- 4) 고장 검출방법 및 시스템 성능을 모니터링 할 때 기초자료로 활용한다.

#### 4.2. FMEA와 위험성 평가기법

FMEA와 유사한 위험성 평가기법으로는 FTA FMA, FMCA 등이 있다. FTA는 프로세스 모델 기법과 유사한 표기법을 이용하여 문제점인 원인과 결과, 위계체계를 그래픽 하게 보여줄 수 있어 복잡하고 역동적인 시스템 분석에 유용하다. FTA와 FMEA는 상호보완적인 관계를 가지고 있다. 경험적이고 귀납적인 FMEA 분석을 보완하는 과정으로 연역적이고 선험적 분석기법인 FTA를 사용할 수 있다. FMA는 실패원인, 빈도 등을 통해 기존의 문제점을 분석하기 위한 기법으로 개발되었기 때문에 새로운 시스템이나 시스템 변경시 예측되는 문제점을 파악하는데 유용하다. FMCA는 FMEA와 가장 유사한 기법으로 중요도 관점에서 실패 원인, 빈도, 실패상태 등을 분석한다는 점에서 차이가 난다. 이들 기법 중 FMEA는 가장 범용적인 위험성 분석 기법으로 잠재적인 실패, 문제, 오류 등을 사전에 정의, 예측하고 제거하는데 효과적인 방법이다.

제조업에서 일반적으로 사용하는 FMEA에서는 위험도(RPN : Risk priority number)수치를 통해 대책이 시급한 우선요인을 도출한다. 위험도를 평가하기 위해서는 고장 형태의 심각도(Severity), 발생도(Occurrence), 검출도(Detection)를 선행하여 평가를 한다. 위험도는 심각도, 발생도, 검

출도를 곱한 값으로 이루어지는데 RPN값이 높은 항목 순으로 위험순위가 결정되며 이는 동시에 개선의 우선순위를 결정 짓는다

#### 4.3. 평가척도 및 방법

모든 작업의 위험등급(RPN)을 결정하기 위하여 재해 발생 빈번도, 심각성을 고려하여 보통 결정한다. FMEA 기법은 여기에 사전예방 가능성 (Detection)을 추가하여 위험 등급을 산출한다. 본 장에서는 FMEA기법을 이용하여 작업 단위별 위험등급을 결정하기 위해 각 평가요소별 평가지표를 정하였으며 다만, 등급범위는 표준화된 기준이 없기 때문에 최대한 미국의 모든 산업에서 사용하는 1~10범위를 사용<sup>3-5)</sup>하였다. 본 연구에서는 국내와 해외 위험성평가의 장 단점을 반영하여 실질적인 위험요인 도출을 통한 대책방안을 수립하고, 체계적인 관리를 위하여 다음과 같이 평가척도 및 방법을 제시하였다.

##### 4.3.1. 발생도(Occurrence)

발생도(빈번도)는 잠재된 위험의 발생가능성이 얼마나 높은지를 평가하는 척도이며 평가척도는 다음 아래와 같다.

Table 8. Occurrence.

Level	Occurrence frequency	Likelihood ratio for accident occurrence
10	Extreme (Inevitable accident)	1 case within a month
9		1 case within 3 months
8	High (Repeated accident)	1 case within 6 months
7		1 case within 9 months
6	Moderate (Occasional accident)	1 case within a year
5		1 case within 2 years
4		1 case within 3 years
3	Low (Less accident relatively)	1 case within 4 years
2		1 case within 5 years
1	Rare	1 case more than 5 years

Table 9. Severity.

Level	Accident severity	Standard classification of human injuries
10	Danger without warning	Fatality
9	Danger with warning	Permanent total disability (Personal damage 1st level)
8	Extreme	Permanent total disability (Personal damage 2nd ~ 3rd level)
7	High	Permanent total disability (Personal damage 4th ~6th level)
6	Moderate	Permanent total disability (Personal damage 7th ~10th level)
5	Low	Permanent total disability (Personal damage 11th ~14th level)
4	Very low	Permanent partial disability (More than 4 weeks)
3	Minor	Permanent partial disability (Less than 4 weeks)
2	Very minor	Temporary partial disability
1	Nothing	Nearmiss

4.3.2. 심각도(Severity)

심각도는 실패의 심각성 및 영향을 나타내는 평가척도로 건설재해는 발생시에 물적 피해보다는 인적피해에 대해 더욱 중요시 하기 때문에 인적 피해를 근간으로 인적피해 분류기준은 재해자 요양기간 분류를 참고하여 등급범위를 설정하였다.

4.3.3. 검출도(Detection)

검출도는 사용자가 사고 발생하기 전에 이를 미리 감지할 수 있는지에 대해 평가척도이다. 검출도는 사고의 잠재적 원인, 메커니즘, 시스템을 적용하기 전에 발견하기 위한 현 안전관리 능력이나 그 후 사고형태를 발견하기 위해서 제안되는 현 안전관리의 능력을 평가하는 것이다. 일반적으로 낮은 등급을 얻기 위해서는 계획된 안전관리의 이행이 반드시 필요하다.

4.3.4. RPN(Risk Priority Number)

PRN은 발생도, 심각도, 검출도 값의 곱으로 집중적으로 관리해야 할 위험등급을 산출하는 것이다. PRN값은 1~1000 사이이다. RPN 값의 정도에 따라 잠재된 위험을 저감하기 위한 대책 노력필요하다. 일반적으로 RPN>100 이상일 때 시정조치를 시행해야 하며 RPN 결과와 관계없이 심각도가 높을 때에는 특별한 주의 및 그에 상응하는 개선대책을 마련하여야 한다.

Table 10. Detection.

Level	Detection Classification	Detection criteria
10	Uncertain	No probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type
9	Almost nothing	No probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
8	Very low	Very low probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
7	Low	Low probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
6	Moderate & low	Moderate and low probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
5	Moderate	Moderate probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
4	High & Moderate	High and moderate probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
3	High	High probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
2	Very high	Very high probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management
1	Almost certain	Almost certain probability to detect potential accident cause/mechanism, then subsequent accident type via safety management

4.4. FMEA 전개 및 프로세스

FMEA Sheet 작성 전 사전준비 사항은 아래와 같다.

4.4.1. 실시대상의 선정

현장 공사기법, 자재 수급 및 보관 관리, 건 설장비, 위험기계·기구, 위험물 및 유독물 관리, 환 경 오염물, 소음 진동, 사무실, 식당, 숙소 등 평가 대상을 선정한다.

4.4.2. 절차수립 및 역할

FMEA 평가방법 및 기법, 대책검토 등 절차를 사전에 확립하고 현장 관계자(수급인, 하수급 인) 역할 및 책임을 명확히 수립한다.

4.4.3. 평가팀의 구성

평가팀의 구성은 책임 있는 엔지니어로 모든 관련부문의 직접적이고 실질적인 대표자를 포함하여 구성한다. 즉, 현장소장, 공종별 책임자, 협력사 소장, 안전관리자 등

4.4.4. 평가 자료준비

공사설계도, 공사시방서, 공정표, 유해·위험 방지계획서, 안전관리계획서 등 해당 작업의 공 정 및 작업절차에 대한 관련 정보 그리고 해당 작업의 기계기구 및 장비 사양서와 점검 절차서, 유해·위험 물질에 관한 정보, 재해사례, 위험요인 Template 등 사전에 준비 한다.

사전준비 자료를 기반으로 FMEA Sheet 작성절차 및 Flow는 다음 아래와 같다.

1) 작성주제 및 검토

해당공종 협력사 소장이 작성하여 최초로 FMEA Sheet 를 작성하여 수급인 공종별 관리 책임 자에게 제출한다. 해당공종 책임자는 적합여부를 1차 검토, 보완하여 안전관리자에게 제출한다. 안전 관리자는 2차 검토 및 최종 보완하여 현장소장의 승인을 득한다.

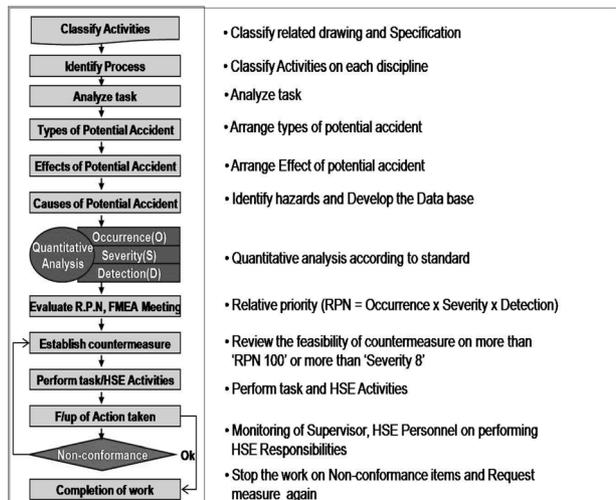


Fig. 6. HSE process according to FMEA.

2) FMEA 최종검토를 위한 협의회의 실시

해당공중에 대한 FMEA Sheet가 작성되면 최종적으로 로 검토회의를 개최하고 관리방안을 확정한다. 현장 소장이 회의를 주재하고 각 공중 책임자 등이 참여 하여 중점관리 항목 선정의 적합성, 대책에 대한 실효성이 있는지를 협의한다. 즉 위험감소 대책이 기술적 난이도를 고려했는지 여부, 합리적으로 실행 가능 한 낮은 수준으로 고려여부, 실행 우선순위가 적절한 지 여부, 추가적으로 위험이 누락되지 않았는지 여부, 대책 실행 후 허용 가능한 위험범위 내로 위험성 이 감소되는지 여부 등을 회의를 통해 최종 결정된다. 마지막으로 최종 선정된 공중별 중점 위험요인 대하여 책임자, 조치방법, 일자 등 업무분장을 실시한다.

결론적으로 본 연구에서 제안하는 FMEA를 활용한 현장안전활동 Process는 아래 그림과 같다.

5. FMEA를 활용한 위험성평가 효과 사례

현행 위험성평가 대비 FMEA를 활용한 위험성평가 기법을 플랜트 공중에 적용함으로써 위험 관리에 대한 안전관리 효율을 개선한 사례는 아래와 같다.

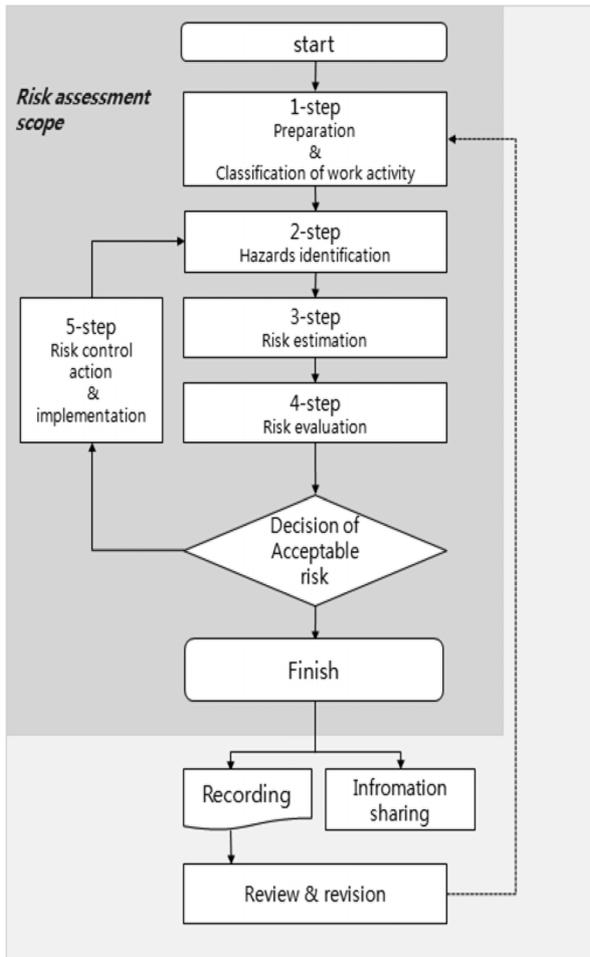


Fig. 7. Procedure for propulsion risk assessment.

5.1. 현행 건설업 적용 위험성평가 기법

위험성평가 기법은 건설 시공 및 관련 활동으로 인하여 재해를 유발할 수 있는 제도, 물적, 인적 측면에 대한 모든 잠재적 위험요소를 사전에 파악하고 위험성을 평가 관리하여 위험요소를 근원적으로 제거하거나 최소화하여 위험을 효과적으로 통제하기 위하여 도입한 기법이다.

위험성평가 추진 절차는 사전준비, 유해위험요인(Hazard) 파악, 위험성(Risk) 계산, 위험성 결정 및 감소 대책 수립 및 실행 등으로 진행되며, 유해위험요인을 파악하여 당해 유해 위험요인이 사고 또는 질병으로 이어질 수 있는 가능성(빈도)과 중대성(강도)에 대하여 계산하고 감소대책을 수립하여 실행하는 일련의 전개 과정을 말한다.

위험성평가는 사업장점검, 청취조사, 기존 사고 사례 및 경험치 등을 통하여 구성된 D/B 자료를 바탕으로 4M으로 위험 구성을 분류 한 뒤 단순 덧셈, 조합식, 곱셈식 등으로 위험성을 계산한다. 이러한 일련의 과정을 통하여 도출된 위험성은 공간 및 상황적으로 가변성이 높은 건설현장에서는 제조업 대비 실효성에 대한 문제점이 꾸준히 제기되고 있다.

특히, 위험성평가 추진 절차의 5단계 - 위험성 감소 대책 수립 및 실행 (Risk Control action & implementation)에 대해서는 결정된 위험성에 대하여 위험성 감쇄를 위한 실행 기반의 개선조치대책이 필요한데 비해 현행 위험성 평가 기법에서는 고위험성에 대한 추가 감소대책을 단순 수립하는 것과 현 상태에서 대책 수립이 불가능 한 위험성에 대해서는 평가를 종료한다는 예외 조건을 제시함으로써 위험요소 감소에 대한 수동적 한계성을 나타내고 있다.

따라서 다공중 복합 시공과 시운전의 공정위험성이 내포된 플랜트 건설 현장에서는 이러한 위험성평가 기법을 보완 할 수 있는 공정 시공 단계 전 사전 예방가능성(Detection) 기능을 추가한 FMEA기법을 도입하여 도출된 위험등급에 대한 신뢰성을 확보 한 뒤 단계별 관리가 필요한 고위험군으로 판정된 위험요인에 대하여는 공정이해관계자와 함께 세부 대책을 도출함으로써 실질적 위험등급(RPN)의 감쇄 효과 및 위험 노출 확률을 줄일수가 있었다.

Table 11. Risk assessment weak point.

Step	Weak Point
Preparation	1. Lack of planning and communication with line management in case of change on process in the workplace. 2. Lack of employee training in the workplace. 3. Lack of awareness of preliminary hazards identification and analysis for the specific operation.
Hazard Identification	1. Lack of professional inspectors 2. Limitation of using evaluation checklist for safety and health - Quality of inspection is dependent upon the checklist - Important information can be missing or overlooked
Risk Estimation	1. Limited to likelihood and severity 2. Limitation of applying formulas
Risk Determination	1. Lack of measures for the tolerable risks
Risk Reduction Measures & Implementation	1. Lack of active risk reduction measures 2. Lack of follow-up functions for the risk reduction measures

5.2. FMEA 적용 및 개선 사례

위와 같이 전개한 FMEA 기법을 활용하여 플랜트 공사 단위작업 중에 발생 할 수 있는 위험성을 효율적으로 감쇄 할 수 있는 FMEA 개선 관리 사례를 아래와 같이 소개하고자 한다.

5.2.1. FMEA 활용 위험성평가 적용 Project

- ① 공사 금액 : 8,000억
- ② 공정율 : 50%
- ③ 일출력인원 : 2,000명
- ④ 주요 공종
  - 가시설, 토목, 건축, 철골, 배관, 기계, 전기, 계장, 내화, 보온, 시운전 등
- ⑤ 주요 특성
  - 단납기 공사 기간

5.2.2. 도입 배경 및 활용 개념

현행 위험성 평가 적용 시 발생도 및 심각도로 구성된 평가 개념의 한계 및 플랜트 현장의 시운전 공종에서의 발생 가능한 고장 형태와 그 영향을 평가 할 수 있는 공정 FMEA에 대한 적출 개념이 부족하였으며, 도출된 위험 요소에 대한 개선 활동의 우선순위 설정 및 위험 관리 항목에 대해 실질적인 실행 기반 개선 활동이 미흡하여 위험성 평가에 대한 신뢰 및 개선 활동에 대한 구체적 실행력 제고를 위한 시스템 도입이 필요하였다. 따라서 당 현장은 위험성 평가시 발생도, 심각도 뿐만 아니라 검출도를 포함함 위험도(RPN) 평가 구성요건으로 정량적, 정성적 도출 값에 대한 신뢰성을 확보하였으며, 도출된 위험도(RPN) 평가 후 허용 불가 항목에 대해서는 협의체 회의 및 S-PCM을 통하여 각 위험 요소에 대한 실질적 개선 대책을 수립한다. 이를 통하여 신뢰성 있는 위험도에 대한 실행 기반 개선 대책으로 2차 판정 시 위험도(RPN)의 수치를 허용 가능한 수치까지 감소하여 중점 위험 작업을 적출 할 수 있다. 도출된 수많은 위험요소에 대한 단계 및 절차별 필터링을 통한 고위험군에 대한 선택과 집중으로 안전관리 효율성을 높일 수 있다.

5.2.3. 개념 도입시 고려 사항

FMEA를 활용한 위험성 평가 기법은 기존의 위험성평가 기법의 보완책으로서 FMEA의 활용에 앞서 현장 상황을 고려하여 적합한 평가기법을 도입하여야 한다. 일반적인 고려 요소는 아래와 같다.

- ① 공정개발 및 사업 추진 단계
- ② FMEA 활용 위험성 평가의 목적
- ③ 사고의 잠재적인 파급효과와 위험수준
- ④ 공정의 단순, 복잡성 정도
- ⑤ 평가자의 기법에 대한 적응 및 활용도
- ⑥ 시운전 공종에 대한 위험성 반영
- ⑦ 예산 및 평가 일정

5.2.4. 운영 Flow

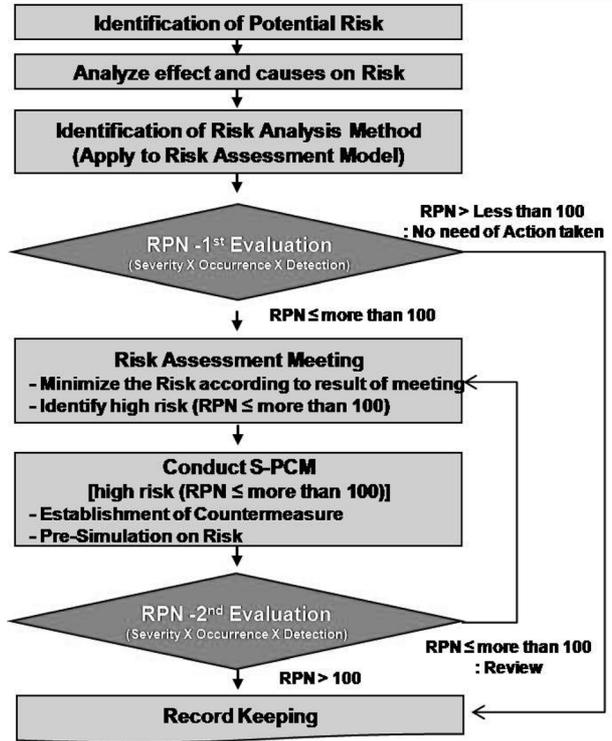


Fig. 8. process Flow.

5.2.5. 공종 평가 사례

플랜트 공사 단위 작업 중 Pipe Rack 설치 공사에 대하여 S사 해외현장 사고사례, 공종별 위험요인 등 경험치를 근거로 축적된 S사 플랜트 공사 위험요인 Template를 기반으로 하여 FMEA를 아래와 같이 작성하여 보았다.

상기와 같이 Pipe rack 설치공사와 관련하여 자재반입 및 운반, 부재인양 및 조립, Grating 설치 3가지 단위작업에 대하여 FMEA Sheet를 작성한 결과는 아래 표와 같다.

FMEA를 활용하여 Pipe rack 설치공사의 잠재적 사고유형,

Table 12. Transportation of materials.

Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	108	Cut of Slings	
2	100	No installation of Tag Lines	
3	96	No installation of Stopper	
4	81	No set-up of off limits	Severity 9
5	48	Employees' unsafe act	

Table 13. Lifting and assembly.

Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	252	Cut of Slings	
2	240	No installation of Lifelines	
3	140	No installation of Body harness's hanger	
4	120	Insufficient installation of safety net	
5	105	Insufficient installation of Outrigger's support	

[ 1. Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) ]

Subcon. Name	OOOO Company	Name	Site Manager, Gi-Dong Hong	Date	2012. 09. 12									
Discipline	Installation of Pipe Rack	Evaluation team	SS/Str OOO, HSE OOO, Subcon OOO	Revised date	2012. 09. 26									
Work	(1) Transportation of Materials	Equipment	Mobile crane, Table lift, fork lift	Completed date	2012. 09. 23									
Location	Type of Risk	Potential Impact	S	Potential Hazards	O	Current HSE System	D	The result of Analysis				RPN	Action by / Date	
Work area	Fall	Permanent Total disability	5	Cut of Slings belt during unloading by lifting with crane	7	Color coding Sys. Safety Training on Heavy equipment	4	5	9	8	2	108	- Review of MIE and Lifting plan - Inspection before/after using - Mark the restricted areas	OOO 0.0.0
Work area	Collision	Permanent Total disability	5	No installation of tag line when loading/unloading of materials	6	Safety Inspection Special training TBM	5	5	4	5	100	- Connect the tagline - Check pre-inspection before lifting work	OOO 0.0.0	
Work area	Struck	Permanent Total disability	6	Improper installation of wedge	5	Safety Inspection Special training	6	6	3	4	96	- Proper installation of wedge - Check the condition of wedge during work	OOO 0.0.0	
Work area	Collision	Permanent Total disability	9	No installation of Spotters "No entry" in lifting area	5	Safety Inspection Guardrail Display banks man	3	9	3	3	81	- Mark the restricted areas - Display banks man	OOO 0.0.0	
Work area	Fall	Permanent Total disability	4	Improper getting off from Loaded vehicle	3	Safety Training TBM	4	4	3	4	48	- Safety awareness and training	OOO 0.0.0	

#S - Severity, O - Occurrence, D - Detection

[ 2. Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) ]

Subcon. Name	OOOO Company	Name	Site Manager, Gi-Dong Hong	Date	2012. 09. 12								
Discipline	Installation of Pipe Rack	Evaluation team	SS/Str OOO, HSE OOO, Subcon OOO	Revised date	2012. 09. 26								
Work	(2) Lifting and Assembly	Equipment	Mobile crane, Table lift, fork lift	Completed date	2012. 09. 23								
Location	Type of Risk	Potential Impact	S	Potential Hazards	O	Current HSE System	D	The result of Analysis				RPN	Action by / Date
Work area	Fall	Fatality	10	No installation of fixed point for safety belt on structure	7	Working of height Safety Training & Inspection	2	10	7	2	140	- Install the fixed point for safety belt - Check the condition before work	OOO 0.0.0
Work area	Falling object	Permanent Total disability	9	Cut of Slings belt during unloading by lifting with crane	7	Color coding Sys. Safety Training on Heavy equipment	4	9	7	4	252	- Review of MIE and Lifting plan - Inspection before/after using - Mark the restricted areas	OOO 0.0.0
Work area	Falling object	Permanent Total disability	7	Simultaneous work	4	Safety Inspection TBM	5	7	3	3	63	- Connect the rope for portable tools - Don't work simultaneously	OOO 0.0.0
Work area	Fall	Permanent Total disability	8	Improper installation of Safety net	5	Safety net Installation Safety Training & Inspection	3	8	5	3	120	- Install proper safety net - Show the installation position of Safety net	OOO 0.0.0
Work area	Turn over	Fatality	10	No installation of Outrigger pads	5	"Heavy equip" standards Safety Training & Inspection	2	10	5	2	100	- Installation Check Plate - Check the ground condition	OOO 0.0.0
Work area	Fall	Permanent Total disability	7	No fastening of Safety hook	5	Install Safety net Safety Training & Inspection	3	7	5	3	105	- Safety training for awareness - Use safety belt and hook	OOO 0.0.0
Work area	Fall	Permanent Total disability	7	No installation of lifelines for Outrigger ladder	6	Install Safety Hook Safety Training & Inspection	4	10	6	4	240	- Install the safety hook - Check the condition	OOO 0.0.0

#S - Severity, O - Occurrence, D - Detection

[ 3. Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) ]

Subcon. Name	OOOO Company	Name	Site Manager, Gi-Dong Hong	Date	2012. 09. 12								
Discipline	Installation of Pipe Rack	Evaluation team	SS/Str OOO, HSE OOO, Subcon OOO	Revised date	2012. 09. 26								
Work	(3) Installation of Grating	Equipment	Mobile crane, Table lift, fork lift	Completed date	2012. 09. 23								
Location	Type of Risk	Potential Impact	S	Potential Hazards	O	Current HSE System	D	The result of Analysis				RPN	Action by / Date
Work area	Fall	Permanent Total disability	7	No compliance of Work Procedure	5	S-PCM Safety Inspection & Training	4	7	5	4	140	- Comply with grating installation procedure - Use safety belt	OOO 0.0.0
Work area	Falling Object	Permanent Total disability	5	No connection of portable tools during working at height	4	Inspection & Safety Training TBM	4	5	4	4	80	- Connect the rope for portable tools - Check the working condition	OOO 0.0.0
Work area	Fall	Permanent Total disability	8	No installation of working platform	6	Establish work schedule Inspection & Training	3	8	6	3	144	- Installation before work - Install working platform	OOO 0.0.0
Work area	Fall	Permanent Total disability	7	No hooping of Safety belt	5	Inspection & Training TBM	2	7	5	2	70	- Safety training on PPE - Safety Inspection & Campaign	OOO 0.0.0
Work area	Falling Object	Permanent Total disability	6	Simultaneous work	5	Safety Meeting Inspection & Training	3	6	5	3	90	- Communication with related discipline - Mark the restricted areas	OOO 0.0.0
Work area	Fall	Permanent Total disability	8	No installation of lifelines	4	Establish work schedule Inspection & Training	2	8	4	2	64	- Install the lifelines - Check the working condition	OOO 0.0.0
Work area	Falling Object	Permanent Total disability	6	Improper installation of opening cover	6	Establish work schedule Inspection & Training	3	6	6	3	108	- Proper installation for opening - Check the working condition	OOO 0.0.0

#S - Severity, O - Occurrence, D - Detection

Fig. 9. Examples of FMEA(pipe rack).

Table 14. Installation of grating.

Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	144	No installation of working platform	
2	140	Not following of working order	
3	108	Insufficient installation of open hole cover	
4	90	Top and bottom simultaneous work	
5	64	No installation of Body harness's hanger	Severity 8

영향, 원인 등을 분석해 본 결과 중점관리 해야 할 작업은 아래와 같다.

1) RPN이 가장 높은 작업 및 잠재 사고원인

철골 부재인양 및 조립 작업시 슬링벨트 파단, 생명 줄 미설치가 RPN 240이상으로 가장 큰 중점관리 우선 위험

요인으로 나타났다.

2) RPN이 100이상인 작업 및 잠재 사고원인

자재반입 및 운반작업시 슬링벨트 파단, 달줄 미설치가 RPN 100이상으로 나타났다. 부재 인양 및 조립작업시는 안전대걸이 미설치, 추락방지망 미설치, 아웃트리거 지지대 미흡이 RPN 100이상으로 나타났으며, 마지막으로 Grating 설치 작업시는 작업발판 미설치, 작업순서 미준수, 개구부 보호덮개 설치 미흡이 RPN 100이상으로 나타났다. 이에 대해서도 중점적인 관리 및 시정조치 활동이 요구되어진다.

3) 심각도 높은 작업 및 잠재 사고원인

RPN 값과 상관없이 심각도가 높은 작업은 자재반입 및 운반작업시 출입금지 조치 미실시와 Grating 설치작업시 안전대 걸이 미설치가 높은 것으로 나타났다. 동시에 그에 상응하는 세부 개선대책이 수립되고 관리되어야 할 것으로 사료되어 협의체 회의를 통하여 RPN 100이상 고위험 Risk에 대한 세부 대책 수립과 공중 점점으로 인한 고위험 복잡 Risk에 대해서는 S-PCM 대상 항목으로 분류한다.

공중 점점 구간의 고위험 복잡 Risk에 대해서는 이해관계자들의 S-PCM을 통하여 위험 요인에 대한 세부 대책 및 조율을 통하여 업무 분장을 실시하며, 사전 Risk 해소를 위하여 2차 위험도 판정 시 1차 판정 대비 RPN 지수의 감쇄 효과성을 확인 할 수 있었다.

1차 및 2차 위험도(RPN) 판정을 통하여 대책이 수반된

Table 15. High-risk group.

Transportation of materials			
Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	108	Cut of Slings	S-PCM
2	100	No installation of Tag Lines	
Lifting and assembly			
Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	252	Cut of Slings	S-PCM
2	240	No installation of Lifelines	
3	140	No installation of Body harness's hanger	S-PCM
4	120	Insufficient installation of safety net	
5	105	Insufficient installation of Outrigger's support	

Table 16. Secondary evaluation.

Transportation of materials			
Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	104	Cut of Slings	
Lifting and assembly			
Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	120	Cut of Slings	

Table 16. Secondary evaluation.

Transportation of materials			
Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	104	Cut of Slings	
Lifting and assembly			
Rank	RPN	Potential Causes of Accident	Note
1	120	Cut of Slings	

위험성에 대해서는 일상 관리하며, RPN 100이상 위험 지수 관리군에 대해서는 집중 관리하여 대규모 사업장에서 무수히 도출된 Risk에 단계별 선별 검증을 통하여 Risk 허수 제거와 절대 위험군에 대한 적출을 통하여 관리 Point에 대한 선택과 집중으로 운영 효율성을 극대화 할 수 있다.

**5.3. 위험성평가 대비 FMEA 적용에 따른 운영 효과**

현행 위험성평가 기법에 검출도(Detection)를 가미한 FMEA 기법을 도입함으로써 사전 위험성 평가 등급에 대한 신뢰성 향상과 위험성 감소 대책 수립 단계에서 위험요인별 세부 대책 수립을 통한 위험성 감소 및 운영 효과는 아래와 같았다.

Table 17. Operation effect.

Division	current Risk Assessment	FMEA Application	Remarks
Risk grade	Likelihood Severity	Likelihood Severity Detection	
Risk Reduction Measures	Risk reduction measures from one-time risk identification	Risk reduction measures from secondary risk identification	FMEA method determines level of risk from not only risk itself but also causation factors.
Apply to object	General Process Plant	Multiple Fast Track Business Unit	FMEA application for the general process plant shall be reason of inefficient operation due to excessive measures.

**6. 결론**

플랜트 공사는 공중이 복잡하고 동시 다발적으로 복합 공중이 투입되고, 또한 시공뿐만 아니라 운영에 필요한 시운전 공중이 이루어지는 특수성에 의거 재해 발생빈도 증대 및 대형사고로 연결될 개연성이 높고 사고 발생시 인적 및 물질손실이 크고 치명적이다. 그래서 효율적인 사전관리 체계 확립을 통하여 잠재된 Risk를 사전에 발굴하여 제거하는 활동이 무엇보다도 시급하다. 본 연구에서는 FMEA 기법을 활용한 위험성평가 방법으로 플랜트 공사 중 상기에 예시로 제시한 Pipe Rack 설치공중에 대하여 평가한 결과를 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) RPN이 높은 중점관리 항목의 직접적 원인은 불안정한 상태 방치가 주요 핵심 KEY Factor로 분석 됐으며, 불

안정상 상태로는 안전시설, 작업방법의 결함이 주요원인으로 분석됐다.

2) 또한 간접적인 원인으로는 불안정한 상태에 대한 관리소홀, 근로자 작업수행 등이 주요 원인으로 분석됐다.

3) 플랜트 공사에 대한 정확한 위험요인 Data 부재로 평가자의 주관에 따라 RPN 값의 차이 발생할 우려가 있으며 그래서 객관적인 신뢰도를 높이기 위하여 FMEA Sheet 검토 단계, 그리고 최종 협의체 회의 및 S-PCM을 통해 RPN을 감소하는 운영방식 Tool을 Process에 명확히 적용하여 발전적인 시스템으로 제안하였다.

본 연구는 FMEA를 활용하여 플랜트 공사수행시 발생빈도, 심각도, 검출도를 고려하여 위험의 우선순위 선정 및 집중관리를 통한 효율적인 사전 예방활동 시스템을 구축하였다. 특히 플랜트 공사의 특수성을 감안하여 지속적인 플랜트 공사 공종별 위험요인 Date Base, NearMiss, 사고사례 등 정보를 집약하는 자료축적이 시급한 것으로 사료된다.

**References**

- 1) Y. C. Yang, H. Choi and J. J. Kim, "A Study of Methods on Safety Checklist Improvement and Integrated Operation with Schedule for Construction Accident Prevention", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 5, No. 2, pp. 123~135, 2004.
- 2) Y. S. Kim, "Approach to Method of Process Failure Mode and Effect Analysis for Construction Industry", Korean Journal of Construction Engineering and Management, 2002.
- 3) H. S. Hong, S. J. Yeo, Y. Heun J. and C. D. Kim, "A Study on the Development of Checklist for Safety Management of Frequently occurred Accident Process in Steel Structural Work", Korean Journal of Construction Engineering and Management, 2004.
- 4) S. S. Go, H. S. and H. M. Lee, "Development of the Safety Information Management System according to the Risk Index for the Building Construction Work", Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No. 6, pp. 113~120, 2005.
- 5) Y. T. Hong, J. H. Yu, G. H. Lim and H. S. Lee, "Evaluation of Time-Affecting Factors in High-Rise Building Construction using FMEA", Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 10, pp. 183~192, 2004.
- 6) G. Carter and S. D. Smith, "Safety Hazard Identification on Construction Project", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132, No. 2, pp. 197~205, 2006.